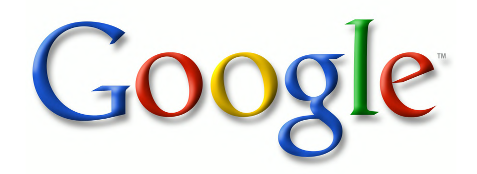
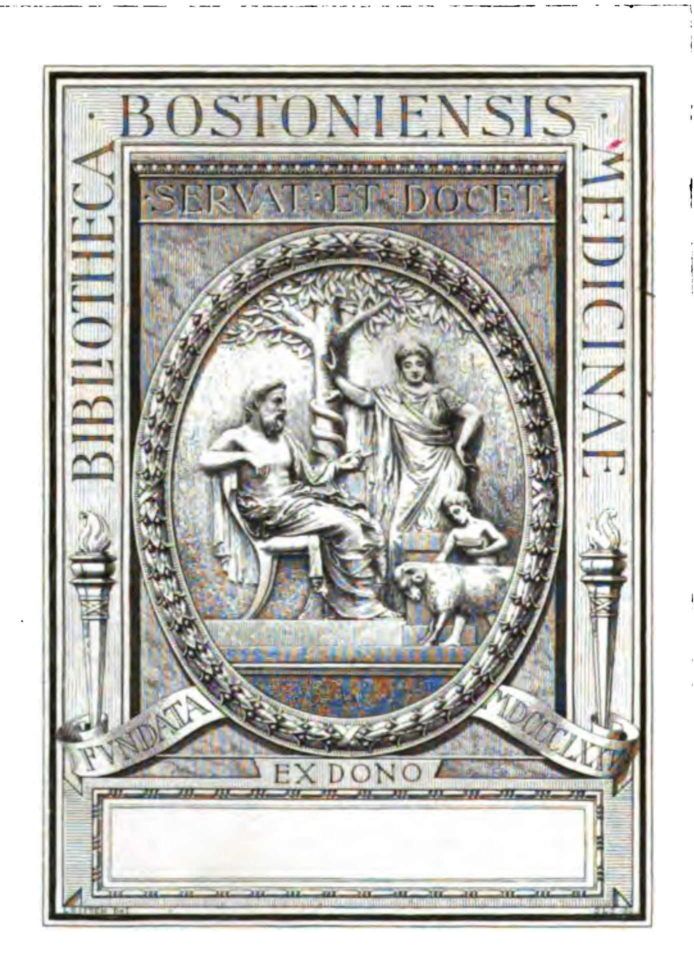



BIBLIOTHECA · BOSTONIENSIS · MEDICINAE
SERVAT · ET · DOCET
FVNDATA
MDCCCLXXV
EX DONO

ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

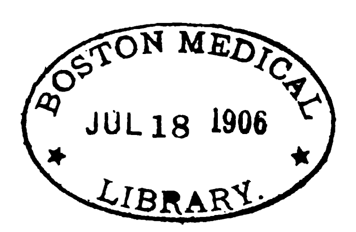
DR. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

BAND HUNDERT UND NEUN.

MIT 13 TAFELN, 42 TEXTFIGUREN.

BONN, 1905.
VERLAG VON MARTIN HAGER.


BOSTON MEDICAL
JUL 18 1906
LIBRARY.

Inhalt.

Erstes und zweites Heft.

Ausgegeben am 19. Juli 1905.

Drittes und viertes Heft.

Ausgegeben am 2. August 1905.

Fünftes und sechstes Heft.

Ausgegeben am 10. August 1905.

Siebentes und achtes Heft.

Ausgegeben am 23. August 1905.

Neuntes und zehntes Heft.

Ausgegeben am 1. September 1905.

Elftes und zwölftes Heft.

Ausgegeben am 30. September 1905.

(Aus der San Francisco Polyclinic, San Francisco, Calif., U. S. A.)

Ueber die Hervorrufung und Hemmung von Glykosurie in Kaninchen durch Salze.

Vierte Mittheilung.

Von

Dr. med. **Martin H. Fischer.**

(Mit 2 Textfiguren.)

I. Einleitung.

Es ist der Zweck der folgenden Seiten, eine ausführlichere Schilderung der Experimente über das obengenannte Thema, die ich in meiner dritten Mittheilung[1]) neulich in diesem Archiv nur in Auszug veröffentlicht habe, zu geben. Um die Versuche etwas verständlicher zu machen, will ich diese Schilderung mit einem kurzen Bericht über die früher von mir gefundenen hierher gehörigen Thatsachen einleiten, namentlich da meine ersten zwei Mittheilungen[2]) in einer etwas unzugänglichen Zeitschrift publicirt wurden.

Im Jahre 1871 beschrieben Bock und Hoffmann[3]) als eine neue Entstehungsart der Glykosurie die Einspritzung von grossen Quantitäten (25—30 ccm oder mehr pro fünf Minuten) einer 1 %igen Kochsalzlösung in das Gefässsystem von Kaninchen. Ist der Versuch vorsichtig angestellt, so entsteht zunächst eine gesteigerte Harnsecretion, und einige Zeit später kommt im Harn Zucker zum Vorschein. Auch Külz[4]) scheint es geglückt zu sein, Glykosurie hierdurch

1) Martin H. Fischer, Pflüger's Archiv Bd. 106 S. 80. 1904.

2) Martin H. Fischer, University of California Publications. Physiology vol. 1 p. 77. 1903, und vol. 2 p. 87. 1904.

3) Bock und Hoffmann, Reichert und du Bois-Reymond's Archiv 1871 S. 550.

4) Külz, Eckhard's Beiträge Bd. 4 S. 177. 1872. Citirt nach Pflüger, Pflüger's Archiv Bd. 96 S. 313. 1903.

hervorzurufen, ferner auch durch Einspritzung von Lösungen von essigsaurem Natrium, kohlensaurem Natrium, valeriansaurem Natrium und bernsteinsaurem Natrium in das Blut.

Die Einflössung von grossen Quantitäten dieser Salzlösungen in das Gefässsystem erzeugt zwei Änderungen, — eine Zunahme der Wassermenge und eine Zunahme des Betrages an Natriumsalzen, die in dem Thiere enthalten sind. Es ist nun durch die Untersuchungen Loeb's gezeigt worden, dass durch eine Steigerung in der Concentration der Natriumionen die Reizbarkeit von Nerven und Muskeln erhöht wird, und dass rhythmische Zuckungen hervorgerufen werden. Weiter hat Loeb zeigen können, dass Calciumsalze antagonistisch wirken, und dass durch Zusatz derselben die erregende Wirkung der Natriumsalze aufgehoben wird. Dr. Loeb machte mich darauf aufmerksam, dass die Glykosurie in Kaninchen nach der Einflössung von Natriumsalzen möglicherweise eine Analogieerscheinung zur Hervorrufung von Muskelzuckungen durch dieselben Salze war, und dieser Vorschlag, für welchen ich Dr. Loeb auch an dieser Stelle wieder meinen besten Dank ausspreche, war der Ausgangspunkt der folgenden Versuche.

II. Versuchsmethoden.

Allgemeine Bemerkungen. Kräftige, gesunde Kaninchen wurden in allen folgenden Versuchen gebraucht. Die Thiere erhielten als Futter Gerste und Alfalfaheu sowie Mohrrüben. Die zuletzt genannte Nahrung ist aber für den Erfolg der Versuche nicht nothwendig.

Um die grossen Mengen Kochsalzlösung, die für die Hervorbringung der Glykosurie erforderlich sind, einzuspritzen, führten Bock und Hoffmann Canülen in das peripherische Ende der A. femoralis oder der A. carotis ein. Da dieses Verfahren eine bedeutende Verletzung des Thieres mit sich bringt und dem Experimentirenden nicht erlaubt, schnell von einem Blutgefäss zu einem anderen überzugehen, wenn die Canüle durch geronnenes Blut verstopft wird, ersetzte ich die Canüle durch zwei hypodermische Nadeln, die mit dem in Figur 1 gezeichneten Einspritzungsapparat in Verbindung standen.

F ist ein Hahn der Wasserleitung der mittelst eines Gummischlauches mit der grossen Druckflasche *A* verbunden ist. Wenn der Hahn geöffnet wird, wird die Luft in *A* comprimirt und rückt durch

die Gummischläuche m und m_1 in die graduirten Cylinder B und C. Die Cylinder B und C sind mit den Lösungen gefüllt, die in das Thier eingespritzt werden sollen. Der Druck der Luft aus A auf den Spiegel dieser Lösungen veranlasst dieselben bei N und N_1 auszufliessen, nachdem sie durch die Röhren $g\,n\,o$ und $g_1\,n_1\,o_1$ gegangen sind. N und N_1 stellen zwei hypodermische Nadeln dar, die an den

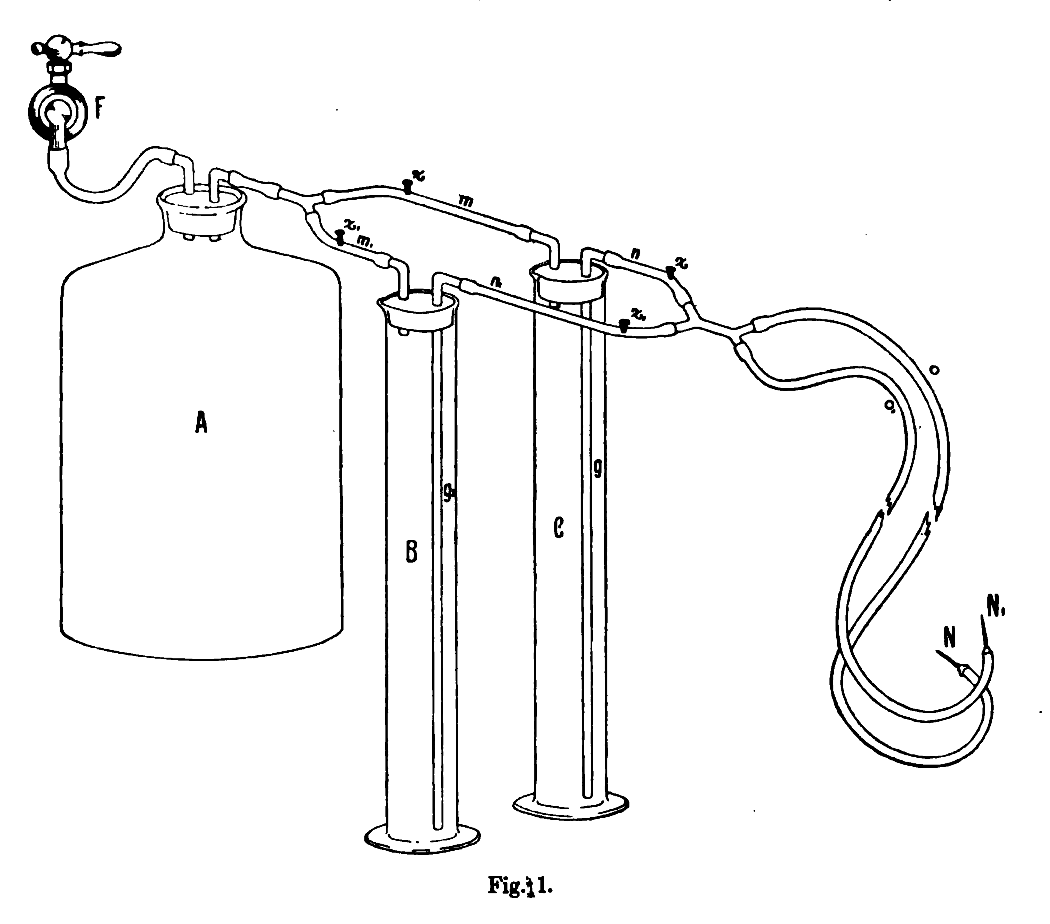


Fig. 1.

Gummischläuchen o und o_1 befestigt sind. $x\,x$ und $x_1\,x_1$ bezeichnen die Schrauben von vier Schraubenquetschhähnen. Durch Schliessung von x_1 und x_1 bei Offenstehen von x und x kann nur die in C enthaltene Lösung in die Röhren o und o_1 übergehen. Durch passende Behandlung dieser Quetschhähne kann man folglich willkürlich von der Einspritzung der einen Lösung zu der Einspritzung einer anderen schnell übergehen, ohne im Uebrigen den Apparat oder das Thier zu stören.

Die Einspritzungen der Salzlösungen wurden in die Seitenvenen der Ohren gemacht. Wenn durch Oedem des Ohres oder durch irgend eine andere Ursache es nöthig war, die Nadeln in einen anderen Theil des Körpers zu führen, so wurden sie in einen der oberflächlichen Zweige der V. femoralis, die an der inneren Seite der Lende liegen, und die bereits durch einen kleinen Hautschnitt blossgelegt wurden, eingesetzt. Diese Versuchsanordnung lässt die Thiere practisch unverletzt, ja ich habe mehrmals dasselbe Kaninchen an einem folgenden Tage wieder gebraucht. Unter diesen Umständen kann man wohl die Fehlerquellen als auf ein Minimum herabgesetzt ansehen. Die Kaninchen wurden auf dem Rücken liegend leicht befestigt und, um sie gegen Wärmeverlust zu schützen, in Watte und Handtücher eingewickelt. Die Salzlösungen wurden stets bis zur Körpertemperatur gewärmt, bevor sie eingespritzt wurden, und um sie warm zu halten, wurden die Cylinder und die Zuleitungsgummischläuche in warmes Wasser gelegt. In keinem der Experimente wurden Anesthetica benutzt, da diese an und für sich Glykosurie hervorrufen können[1]).

Der Urin wurde der Blase mittelst eines Katheters entnommen. Dies ist immer möglich bei Männchen. Bei den wenigen Weibchen, bei welchen dies nicht möglich war, wurde die Blase durch leichten Druck auf die Bauchwand entleert.

Zuckerbestimmung. Schon die Beobachtungen von Bock und Hoffmann und von Külz haben in eindeutiger Weise bewiesen, dass die reducirende Substanz, die im Harn nach Einflössung von reinen Natriumsalzlösungen zum Vorschein kommt, nichts anderes ist als Zucker, dass es sich wirklich um Traubenzucker im Harn handelt, habe ich durch die Gärungs- und Phenylhydrazinprobe beweisen können. Zur quantitativen Bestimmung des Zuckers in meinen Experimenten gebrauchte ich eine normale Fehling'sche Lösung, die stets frisch gemischt und probirt wurde. Die Harnanalysen wurden jede $7^1/_2$ Minuten gemacht, wenn eine genügende Menge Harn sich in dieser Zeit angesammelt hatte. Die

1) Auf die Versuche von O. H. Brown (Americ. Journ. of Physiol. vol. 10 p. 378. 1904) über Glykosurie durch Salzlösungen, die er seit dem Erscheinen meiner ersten zwei Mittheilungen über dasselbe Thema veröffentlicht hat, will ich hier nicht wieder eingehen. Für eine kurze Besprechung der Fehlerquellen in Brown's Experimenten siehe meine dritte Mittheilung. Pflüger's Archiv Bd. 106 S. 80. 1904.

Analysenmethode war folgende: Um das Eiweiss, das von Zeit zu Zeit zum Vorschein kommt, zu beseitigen, wurde jede Urinprobe durch Zusatz eines Tropfens Essigsäure schwach sauer gemacht und gekocht. Nach vorsichtiger Neutralisation mit Kaliumhydroxyd und dem Zusatz eines Ueberschusses bis zur schwach alkalischen Reaction wurde der Harn filtrirt. Wenn man nun abgemessene Mengen von Harn und abgemessene Mengen von Fehling'scher Lösung gebraucht, so kann man leicht eine Zunahme oder Abnahme in der Zuckerausscheidung wahrnehmen. In meinen ersten Versuchen genügte es mir zu wissen, ob die Zuckerausscheidung am Steigen oder Fallen war. In meinen späteren Experimenten versuchte ich, die absoluten Mengen des ausgeschiedenen Zuckers zu berechnen. Öfters jedoch musste ich mich wegen Mangel an Zeit damit befriedigen, festzustellen, ob die Menge des ausgeschiedenen Zuckers unter oder über einen gewissem Procentsatze lag.

III. Ueber die Hervorrufung von Glykosurie durch Kochsalzlösungen.

Wenn 75—100 ccm einer $^1/_6$ molecularen NaCl-Lösung pro 15 Minuten in die Blutbahn von kräftigen, gut ernährten Kaninchen eingespritzt werden, beobachtet man die folgenden Erscheinungen. In 15 Minuten nach dem Beginn der Einspritzung steigt die Menge des ausgeschiedenen Harns. Nach einer Stunde ist die Menge des Harns bis zu einem Punkt gestiegen, von dem an sie der Menge der eingespritzten Salzlösung ungefähr gleich läuft.

Die Eigenschaften des Harns werden ebenfalls stark geändert. Der Harn, der zu Anfang des Versuches trübe, tief gelb und gewöhnlich alkalisch auf Lackmuspapier reagirte, wird klar und hell im Laufe einer halben Stunde. Die Reaktion wird neutral oder Lackmuspapier gegenüber schwach sauer. Die Ausscheidung dieses schwach sauren wässerigen Harns hält an, solange die Einspritzung fortgesetzt wird (27 Stunden in einem Fall). Öfters, aber durchaus nicht immer, tritt eine Spur Eiweiss, die für eine kürzere oder längere Zeit anhält, im Urin auf. Bisweilen kommt eine vorübergehende Haematurie zum Vorschein, die ihren Ursprung aber immer, wie es scheint, in einer Verletzung der unteren Harnwege durch den Katheter hat. Dies wird dadurch bewiesen, dass die Haematurie in meinen Versuchen nur in

katheterisierten Thieren zum Vorschein kam, die nach dem Tode leichte Blutungen in den unteren Harnwegen zeigten.

Zucker kommt ungefähr zwei Stunden nach dem Beginn der Einspritzung im Harn zum Vorschein. Wenn weniger als 75—100 ccm einer $^1/_6$ molecularen NaCl-Lösung pro 15 Minuten eingespritzt werden, dauert es länger als zwei Stunden, bevor Zucker im Harn auftritt. Umgekehrt bringen grössere Mengen der Salzlösung den Zucker früher zum Vorschein. Doch sind die Thiere unter sich verschieden, indem manche Zucker früher im Harn ausscheiden als Andere. Die Glykosurie besteht 6—8 Stunden. Die Menge des ausgeschiedenen Zuckers ist zuerst klein, steigt aber rasch bis zu einem Maximum, um allmälig auf Null zu fallen. Wenn die Glykosurie ihren höchsten Punkt erreicht hat, kann die Concentration des Zuckers über 0,40 % betragen. Diese Thatsache macht zuerst nicht den Eindruck einer schweren Glykosurie. Die Beträchtlichkeit der Zuckerausscheidung kommt aber gleich zum Vorschein, wenn daran erinnert wird, dass die Einspritzung der grossen Mengen Wasser die Menge des ausgeschiedenen Harns in der Zeiteinheit ungeheuer steigert. In diesen Versuchen mit beispielsweise $^1/_6$ molecularer NaCl-Lösungen secernieren die Kaninchen in ein oder zwei Stunden ungefähr soviel Harn wie sonst in 24. Dies besagt, dass, falls der Harn nicht durch die intravenöse Einspritzung von viel Wasser verdünnt würde, die Menge des ausgeschiedenen Zuckers zu Zeiten über 6 % liegen würde, — ein höchst schwerer Diabetes.

Weiter unten (S. 13 ff.) werden Experimente mitgeteilt, in welchen durch passende Versuchsanordnung die Zuckerausscheidung ohne eine bedeutende Zunahme in der Menge des ausgeschiedenen Urinwassers zustande kam. In einen dieser Versuche stieg der Procentsatz Zucker im Urin bis auf 7,3 %.

In den soeben beschriebenen Versuchen wurde eine $^1/_6$ moleculare Kochsalzlösung zur Einspritzung benutzt. Ich wollte nun zunächst feststellen, welchen Einfluss Lösungen desselben Salzes in Concentrationen, die niedriger oder höher sind als diese, haben würden. Zwölf Kaninchen, die aus drei Würfen stammten, und die möglichst dasselbe Gewicht sowie für mehrere Tage dieselbe Kost genossen hatten, wurden dieselben Mengen (85 ccm), aber verschieden concentrierter Kochsalzlösungen, in der Zeiteinheit (15 Minuten) ein-

gespritzt. Die Resultate dieser Experimente werden in folgenden Paragraphen kurz zusammengefasst.

a) Vier Versuche wurden mit $^1/_8$ molecularer Kochsalzlösung angestellt. Die Einspritzungen wurden 4—6 Stunden fortgesetzt. Bei keinem der Kaninchen kam Zucker im Harn zum Vorschein.

b) Vier Versuche wurden mit $^1/_7$ molecularer Kochsalzlösung angestellt. In drei dieser Experimente trat kein Zucker im Harn auf, obwohl die Einspritzungen 7 Stunden fortgesetzt wurden. In dem vierten Versuch dieser Reihe kam eine Spur Zucker nach 4 Stunden lang fortgesetzter Einspritzung zum Vorschein. Diese Spur verschwand aber sofort wieder und trat nicht wieder auf, obwohl ich mit der Einflössung 2 Stunden länger fortfuhr.

c) Die intravenöse Einspritzung von einer $^2/_{13}$ molecularen NaCl-Lösung rief eine Glykosurie in 2 Stunden 10 Minuten hervor. Nur eine Spur Zucker trat aber im Urin auf, und diese verschwand nach $1^1/_4$ Stunde, obwohl die Einspritzung fortgesetzt wurde.

d) Eine $^1/_6$ moleculare NaCl-Lösung brachte eine Zuckerausscheidung in $1^3/_4$ Stunden zum Vorschein. Die Spur Zucker, die zu dieser Zeit auftrat, stieg innerhalb 50 Minuten bis auf 0,15 %. Nachdem die Zuckerabgabe in dieser Stärke für 2 Stunden angedauert hatte, wurde der Versuch aufgegeben.

e) Eine $^2/_{11}$ moleculare NaCl-Lösung brachte eine Glyoksurie in 67 Minuten hervor. 22 Minuten später war die Concentration des Zuckers im Harn 0,12 %. Nachdem die Zuckerausscheidung 1 Stunde länger angehalten hatte, wurde der Versuch beendet.

f) Eine $^1/_5$ moleculare NaCl-Lösung brachte Zucker nach 22 Minuten zum Vorschein, 30 Minuten später enthielt der Urin 0,11 % und 1 Stunde später 0,21 % Zucker. Nach 2stündiger fortgesetzter Zuckerausscheidung wurde das Thier vom Operationstische entfernt.

Diese Versuche zeigen, dass Zucker um so früher im Harn zum Vorschein kommt und im Allgemeinen, in um so grösseren Mengen erscheint, je höher die Concentration der eingespritzten Salzlösung ist. Unten werden noch weitere Beweise für die Richtigkeit dieses Satzes gebracht werden; da diese Versuche aber etwas verschieden sind von den soeben beschriebenen, will ich sie an dieser Stelle nicht anführen.

IV. Ueber die Hervorrufung von Glykosurie durch andere Natriumsalze.

Es ergab sich nun die Frage, ob das Vermögen von Kochsalz, eine Glykosurie hervorzurufen, eine Eigenschaft aller Natriumsalze ist. Die Thatsache, dass Külz eine Glykosurie durch die Einspritzung von essigsaurem-, kohlensaurem- und valeriansaurem Natrium hervorbringen konnte, sprach hierfür; dass es ihm aber andererseits nicht gelang, durch Natriumbromid und Natriumiodid Zucker im Harn zum Vorschein zu bringen, sprach gegen diese Idee. Da nun Külz aber nur Lösungen brauchte, die den gleichen Procentsatz Salz enthielten (z. B. 1 %ige Lösungen von brom- und jodsaurem Natrium), anstatt äquimoleculare, erschien es möglich, dass das Misslingen der Versuche mit den zuletzt genannten Salzen darauf beruhte, dass seine Lösungen nicht genügend concentrirt waren. Ich unternahm es deshalb, eine Anzahl Versuche mit NaBr, NaI und auch $NaNO_3$ anzustellen. Wenn 75—100 ccm einer $^1/_6$ molecularen Lösung dieser Salze pro 15 Minuten intravenös eingespritzt werden, kommt eine Glykosurie ebenso schnell und in derselben Weise zum Vorschein wie nach der Einspritzung einer äquimolecularen Kochsalzlösung.

V. Das Vermögen von Calciumchlorid, die durch Natriumsalz hervorgerufene Glykosurie zu hemmen.

Es gelang mir in einer Anzahl von Versuchen den Beweis zu erbringen, dass die Glykosurie, die durch die Einspritzung einer reinen Natriumchloridlösung hervorgerufen wird, durch den Zusatz eines löslichen Calciumsalzes zu der Kochsalzlösung gehemmt wird. Wenn ungefähr 75—100 ccm einer $^1/_6$ molecularen NaCl-Lösung pro 15 Minuten in die Blutbahn eines Kaninchens eingeflösst werden, kommt innerhalb 2 Stunden Zucker im Urin zum Vorschein. Diese Glykosurie kann gehemmt werden, selbst wenn dieselbe Menge Flüssigkeit in der Zeiteinheit eingeflösst wird, wenn die reine Kochsalzlösung durch die folgende Lösung ersetzt wird: 25 ccm $^3/_8$ moleculares $CaCl_2$ + 975 ccm $^1/_6$ moleculares NaCl. Nachdem die Zuckerausscheidung hier-

durch aufgehoben ist, kann sie wieder von Neuem hervorgerufen werden durch Rückkehr zu der reinen $^1/_6$ molecularen Kochsalzlösung. An kräftigen, gesunden Kaninchen kann dies mehrmals hintereinander gethan werden. Durch passende Behandlung der Quetschhähne des in Fig. 1 abgebildeten Apparates kann von der Einspritzung der einen Lösung zur Einspritzung der anderen übergegangen werden, ohne das Thier auf irgend eine Weise zu stören.

Die specifischen Wirkungen der verschiedenen Salze zeigen sich erst nach einer ziemlich grossen Latenzzeit. Nachdem die Zuckerausscheidung durch eine reine NaCl-Lösung hervorgerufen ist, hört sie nicht wieder auf, bis die Einspritzung der 975 ccm $^1/_6$ molecularen NaCl + 25 ccm $^3/_8$ molecularen $CaCl_2$-Lösung 1—2 Stunden gedauert hat. Nachdem die Zuckerausscheidung hierdurch aufgehoben ist, kann sie nicht wieder unter 1—2 Stunden von Neuem durch Rückkehr zu der reinen NaCl-Lösung hervorgerufen werden.

Das in dem vorhergehenden Paragraphen Gesagte gilt anscheinend auch für die Glykosurie, die durch reine NaBr-, NaI- und $NaNO_3$-Lösungen hervorgerufen wird. Es ist mir gelungen, die Zuckerausscheidung, die durch reine $^1/_6$ moleculare Lösungen dieser Salze hervorgerufen wird, aufzuheben, lange bevor die Menge des ausgeschiedenen Zuckers gleich der Menge des im Körper enthaltenen und auf diese Weise ausspülbaren Zuckers gleich war, indem die reinen Salzlösungen durch Mischungen von 975 ccm der $^1/_6$ molecularen Natriumsalzlösungen mit 25 ccm $^3/_8$ molecularen $CaCl_2$-Lösungen ersetzt wurden. In all meinen bisher angestellten Versuchen haben aber die giftig wirkenden Anionen dieser Natriumsalze das Thier getödtet, bevor ich Zucker ein zweites Mal im Harn bekommen konnte.

Der folgende Versuch mag dazu dienen, das Vorhergesagte etwas zu erläutern. Das Experiment zeigt, wie Glykosurie in einem Kaninchen durch eine reine Kochsalzlösung hervorgerufen werden kann, und wie diese Glykosurie durch Zusatz eines kleinen Betrages Calciumchlorid zur Kochsalzlösung aufgehoben wird, um von Neuem hervorgerufen zu werden durch Rückkehr zu der reinen Natriumchlorid-Lösung.

Die Zeit ist in der ersten Spalte angegeben. Die zweite Spalte zeigt wie viel Salzlösung in den vergangenen (gewöhnlich den

letzten 15) Minuten eingespritzt worden ist. Die Menge des ausgeschiedenen Harns in derselben Zeiteinheit ist in der dritten Spalte angegeben. Der aufrechtstehende Pfeil (↑) bedeutet, dass der Procentsatz Zucker seit der letzten Analyse gestiegen ist; der umgekehrte Pfeil (↓), dass der Procentsatz Zucker gefallen ist. Kein Pfeil meint, dass die Menge Zucker ungeändert geblieben ist. Das Experiment ist mit allen Details wiedergegeben, um zu zeigen, wie all die Versuche, auf welchen sich die hier mitgeteilten Resultate stützen, ausgeführt wurden.

Protokoll A.

Grosses, männliches Kaninchen. 2700 g. Für mehrere Tage mit Alfafaheu, Gerste und Mohrrüben gefüttert. Harnblase durch Katheterisation entleert.

Injectionsflüssigkeit: $^1/_6$ moleculares NaCl abwechselnd mit 975 ccm $^1/_6$ moleculares NaCl + 25 ccm $^3/_8$ moleculares $CaCl_2$.

Zeit h '	Menge der eingespritzten Salzlösung in ccm	Menge des ausgeschiedenen Harns in ccm		
Vorm.				
11 43	—	—	Thier aufgebunden. Kein Anästheticum	
11 43	—	5	Trübe, gelb, alkalisch	Kein Zucker
			Einspritzung der $^1/_6$ mol. NaCl-Lösung in beide Ohren angefangen	
12 00	100	6	Harn wird klarer, schwach sauer	Kein Zucker
Nachm.				
12 15	100	14	Klar wie Wasser, schwach sauer	Kein Zucker
12 30	90	20		Kein Zucker
12 45	55	25		Kein Zucker
1 00	65	44		Kein Zucker
1 15	60	40		Kein Zucker
1 30	120	37		Kein Zucker
1 45	130	55		Spur Zucker
1 52	20	—	Einspritzungsflüssigkeit gewechselt!! Einspritzung mit 975 ccm $^1/_6$ mol. NaCl + 25 ccm $^3/_8$ mol. $CaCl_2$ angefangen	Zucker; über 0,025 % ↑
2 00	80	100	Klar wie Wasser, schwach sauer	Zucker; über 0,035 % ↑
2 07	—	—		Zucker; über 0,05 % ↑
2 15	110	128		Zucker; über 0,05 %
2 22	—	—		Zucker; über 0,05 %
2 30	110	97		Zucker 0,05 %
2 37	—	—		Zucker; auffallende Abnahme 0,03 % ↓
2 45	80	95		Zucker; auffallende Abnahme: weniger als 0,25 % ↓
2 52	—	—		Spur Zucker
3 00	90	95		Spur Zucker

Zeit h ′	Menge der eingespritzten Salzlösung in ccm	Menge des ausgeschiedenen Harns in ccm		
3 04	?	—	Einspritzungsflüssigkeit gewechselt!! Einspritzung mit 1/6 mol. NaCl-Lösung von Neuem angefangen	
3 07	—	—		Spur Zucker
3 15	80	105		Spur Zucker
3 22	—	—	Klar wie Wasser, schwach sauer	Spur Zucker
3 30	80	87		Spur Zucker
3 37	—	—		Kein Zucker
3 45	80	63		Kein Zucker
3 52	—	—		Kein Zucker
4 00	40	50+	Etwas blutig, sauer	Kein Zucker
4 07	—	—		Kein Zucker
4 15	85	65		Spur Zucker
4 22	—	—		Spur Zucker
4 30	85	55		Spur Zucker
4 37	—	—		Zucker ↑
4 45	100	60	Klar wie Wasser, schwach sauer	Zucker; grosse Zunahme: 0,025 % ↑
4 52	—	—		Zucker 0,025 %
4 55	50?	—	Einspritzungsflüssigkeit gewechselt!! Einspritzung mit 975 ccm 1/6 mol. NaCl + 25 ccm 3/8 mol. $CaCl_2$ ein zweites Mal angefangen	
5 00	20	60		Zucker
5 07	—	—		Zucker
5 15	100	45		
5 30	125	50		Zucker
5 37	—	—		Zucker
5 45	120	72		Zucker; 0,025 %
5 52	—	—	Etwas blutig, sauer	Zucker; über 0,025 % ↑
6 00	75	52		Zucker 0,05 % ↑
6 07	—	—		Spur Zucker; grosse Abnahme ↓
6 15	65	32		Kein Zucker
6 22	—	—		Kein Zucker
6 30	90	14		Kein Zucker
6 32	—	—	Einspritzungsflüssigkeit gewechselt!! Einspritzung mit 1/6 mol. NaCl ein drittes Mal angefangen	
6 37	—	—		Kein Zucker
6 45	85	8		Kein Zucker
7 00	110	6	Etwas blutig, sauer	Kein Zucker
7 15	100	4		Kein Zucker
7 30	60	3		Kein Zucker
7 45	70	3	Sehr blutig, sauer	Kein Zucker
8 00	100	5		Kein Zucker
8 05	—	—	1 ccm 1/8 mol. essigsaures Natrium pro 5 Min. in den Schlauch *o* (siehe Fig. 1) eingespritzt zur Beseitigung des Calciums	
8 15	60	15		Spur Zucker
8 30	70	20		Spur Zucker
8 45	100	20		Zucker ↑
9 00	100	15		Zucker
9 15	65	4	Harn trübe, blutig, sauer	Zucker
			Thier stirbt. Die Bauchhöhle und der Darm sind mit Flüssigkeit gefüllt. Schweres Oedem des ganzen Thieres.	

Ich habe Protokolle von sieben Versuchen, in welchen eine Zuckerausscheidung durch eine reine Kochsalzlösung hervorgerufen wurde, durch eine Mischung von derselben Kochsalzlösung mit Calciumchlorid beseitigt wurde, um wiederum durch reine Kochsalzlösung hervorgerufen zu werden. In den verschiedenen Versuchen konnte dies ein- bis dreimal wiederholt werden.

Aber nicht in allen Versuchen konnte ich die Kochsalzglykosurie durch Zufügung von Calciumchlorid beseitigen. In drei Versuchen, die unter den obigen nicht mitgezählt sind, gelang es mir nicht die Zuckerausscheidung aufzuheben. Was in diesen Fällen die Ursache der uncontrollirbaren Zuckerausscheidung war, kann nicht mit Bestimmtheit gesagt werden. Ein Thier hatte nach einer Verletzung eine Morphiumeinspritzung bekommen, welche an und für sich Glykosurie in Kaninchen hervorrufen kann. Bei einem zweiten Kaninchen wurde eine schwere Glykosurie (über 0,1 %) durch Einspritzung einer $^1/_6$ molecularen Kochsalzlösung hervorgerufen. Die Zuckermenge wurde bis auf eine Spur beseitigt durch eine Mischung von $NaCl$ und $CaCl_2$. Ich bekam Zucker über 0,1 % ein zweites Mal durch Rückkehr zu der reinen Kochsalzlösung. Diese Zuckerausscheidung wurde wieder bis zu 0,025 % herabgesetzt durch Einspritzung der $NaCl$-$CaCl_2$-Lösung. Die Zuckerausscheidung stieg sodann ein drittes Mal, obwohl die Einspritzung mit dem $NaCl$ - $CaCl_2$ - Gemisch fortgesetzt wurde. Im dritten Fall bekam ich eine schwere Glykosurie nach Einspritzung von 100—110 ccm pro 15 Minuten einer $^1/_6$ molecularen NaCl-Lösung. Die Zuckerausscheidung wurde durchaus nicht durch Zugabe von $CaCl_2$ zur reinen Kochsalzlösung beeinflusst. Weiter unten werden noch andere Versuche erwähnt werden, in welchen durch Einspritzung von zu grossen Mengen oder von zu concentrirten NaCl - Lösungen uncontrolirbare Glykosurien zu Stande kamen. Früher suchte ich die Erklärung dieser Glykosurien hauptsächlich in gewissen äusseren mitwirkenden Umständen. Ich glaube aber jetzt, dass mit Ausnahme des Versuches, in welchem Morphium eingespritzt wurde, welches an und für sich eine Glykosurie im Kaninchen hervorrufen kann, dass die Ursache dieser uncontrolirbaren Glykosurien in einer d a u e r n d e n Verletzung der Medulla oblongata liegt. Wie weiter unten gezeigt werden soll, liegt der Angriffspunkt aller dieser Salze insoweit als sie eine Glykosurie hervorrufen können in einer Einwirkung auf die Medulla. Das Anbinden der Thiere allein bringt eine Glykosurie bei Kaninchen nicht zu Stande, obwohl dies

bei Katzen möglich zu sein scheint, bei denen Böhm und Hoffmann[1]) regelmässig Zucker im Harn fanden, wenn die Thiere auf das Operationsbrett gebunden waren. Bei sechs Kaninchen, die ich auf den Tisch band und hier 24—36 Stunden liess, kam Zucker nicht einmal im Harn zum Vorschein.

VI. Versuche zur Localisirung des Angriffspunkts der Salzlösungen.

Es ist durch die Versuche von Külz gezeigt worden, dass die Glykosurie, die durch Einspritzung reiner Kochsalzlösungen in Kaninchen hervorgerufen wird, nicht mehr zum Vorschein kommt, wenn die Nervi splanchnici durchschnitten sind, und dass eine vorhandene Glykosurie nach dieser Operation aufhört. Diese Thatsachen scheinen darauf hinzuweisen, dass der Diabetes nervösen Ursprungs ist, und dass das Kochsalz auf das sogenannte Diabetescentrum der Medulla oblongata wirkt. Um diese Idee etwas weiter zu prüfen, machte ich eine Anzahl Experimente, in welchen der Versuch gemacht wurde, die Wirkung des Kochsalzes soweit wie möglich zu localisiren. Falls die verschiedenen Salzlösungen durch Einwirkung auf die Medulla eine Zuckerausscheidung zu Stande bringen, war es zu erwarten, dass, wenn die Einspritzungen möglichst direct in die Blutgefässe der Medulla gemacht würden, die Zuckerausscheidung einen höheren Grad erreichen würde, als wenn dieselbe Menge derselben Salzlösung in ein peripherisches Blutgefäss eingeführt würde. Um vergleichbare Resultate zu bekommen wurden eine Reihe Versuche angestellt, in welchen immer möglichst gleich grosse, gleich alte und gleich ernährte Kaninchen so behandelt wurden, dass das eine Kaninchen eine Einspritzung in das peripherische Ende der A. femoralis, das andere in das centrale Ende der abgebundenen A. axillaris bekam.

Da ich in diesen Versuchen concentrirtere und deshalb viel geringere Mengen Salzlösung einspritzte als in den bisher beschriebenen Experimenten, konnte ich den in Figur 2 abgebildeten Einspritzungsapparat besser gebrauchen als den früher beschriebenen. Weiterhin war es in den folgenden Experimenten eine nothwendige Bedingung,

1) Böhm und Hoffmann. Citirt nach Naunyn, Der Diabetes melitus. Wien 1898.

dass die Mengen der eingespritzten Salzlösungen g e n a u regulierbar sind, um vergleichbare Resultate zu bekommen. Der Apparat, welcher in Figur 2 abgebildet ist, erlaubt dies vollständig. *C* ist eine gewöhnliche Pravazspritze, die durch das verstellbare Ventil *V* mit den Gummischläuchen *A* und *B* in Verbindung steht. Das freie Ende von *A* taucht in ein Becherglas, welches die erwärmte, zur Einspritzung dienende Lösung enthält, während *B* mit der hypodermischen Nadel *N*, die in die Blutbahn des Thieres eingeführt wird, versehen ist. Durch passende Einstellung des Ventils und durch Hebung und Senkung des Kolbens der Spritze kann irgend eine Flüssigkeit schnell durch den Schlauch *A* in den Cylinder *C* eingesogen werden, um mit beliebiger Geschwindigkeit durch den Schlauch *B* in das Thier eingespritzt zu werden.

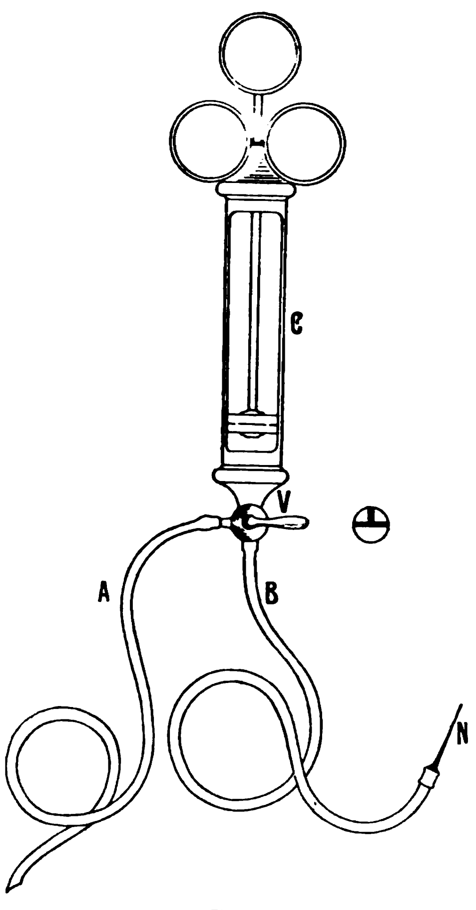


Fig. 2.

Um eine möglichst directe Wirkung auf die Medulla oblongata zu bekommen, versuchte ich, die Salzlösungen so einzuspritzen, dass sie durch die A. vertebralis der einen Seite in die Medulla direct eindrangen. Indessen ist diese Arterie so klein, dass die hypodermische Nadel nicht direct in sie eingeführt werden kann. Die Einspritzungen wurden deshalb c e n t r a l w ä r t s in die A. axillaris gemacht nach Abbindung derselben, um eine peripherische Fortbewegung der Salzlösung zu vermeiden. Manchmal wurde, um den Zutritt der Salzlösung in die Medulla noch weiter zu versichern, auch die A. carotis abgebunden.

Die notwendige Operation zur Freilegung der verschiedenen Blutgefässe wurde folgenderweise ausgeführt. Das Fell des Kaninchens wurde nach einem Hautschnitt in der Mittellinie reflectirt, und die Mm. Pectorales der rechten Seite durch einen Schnitt quer geteilt. Blutungen wurden durch Haemostaten leicht gestillt und ein wenig sorgfältiges Seciren legte das obere Ende der A. axillaris, die A. subclavia und das untere Ende der A. carotis mit den darüber liegenden Nerven frei. Die Blutgefässe wurden vorsichtig von den Nerven getrennt und die zur Abbindung dienenden Seidenfäden mittelst einer gebogenen Nadel um die Arterien gezogen.

Ich möchte betonen, dass die Thiere nie ein Anestheticum bekamen, da die Natur der Versuche dies nicht erlaubt. Die ganze Operation kann in vier Minuten vollendet werden, und wenn nur ein scharfes Messer gebraucht wird, bewegt sich das Thier nicht einmal; das Kaninchen leidet scheinbar gar nicht. Um sicher zu sein, dass die Operation an und für sich nicht zu einer Glykosurie führt, habe ich mehrere Versuchsthiere als Controlle 2—10 Stunden auf dem Tisch liegen lassen und den Harn sorgfältig auf Zucker analysirt. In keinem der Thiere kam Zucker zum Vorschein. Ich glaube deshalb, dass wir mit Sicherheit sagen können, dass die nothwendige Operation nicht die Ursache einer Glykosurie ist. Verletzung der Nerven durch Durchschneidung, Ziehen, Austrocknen und dergl. wurden auf das Peinlichste vermieden.

Wie schon in meinen früheren Mittheilungen hervorgehoben ist, ist die Leichtigkeit, mit welcher eine Glykosurie in verschiedenen, gleich grossen, gleich alten und gleich gefütterten Kaninchen hervorgerufen werden kann, verschieden. Es ist deshalb nothwendig, eine grössere Zahl Versuche anzustellen, um vergleichbare Resultate zu bekommen. Ich habe im Ganzen sechs Versuchsreihen gemacht, in welchen 14 Kaninchen in der oben beschriebenen Weise benutzt wurden. In diesen Versuchen stellte es sich nun heraus, dass die Zuckerausscheidung etwas früher anfängt, und dass der Betrag ausgeschiedenen Zuckers grösser ist, wenn eine $^1/_2$ oder $^1/_1$ moleculare NaCl-Lösung centralwärts in die abgebundene A. axillaris eingespritzt wird, als wenn dieselbe Menge derselben Salzlösung in ein peripherisches Blutgefäss eingeflösst wird. Wenn die concentrirte Salzlösung in die A. axillaris eingespritzt wird, genügen

schon 25—30 ccm, um den Anstoss zu einer Zuckerausscheidung zu geben. Wie in den schon oben beschriebenen Versuchen (S. 6) hält bei fortgesetzter Einspritzung auch hier die Zuckerausscheidung solange an, bis all der auf diese Weise ausscheidbare Zucker secernirt ist. Wenn die Einspritzung aber aufgehoben wird, bevor dieser Punkt erreicht ist, so hört die Glykosurie gewöhnlich in 30—40 Minuten auch auf. Wie schon oben hervorgehoben ist, ist dies beinahe ausnahmslos der Fall, wenn die concentrirten Kochsalzlösungen in ein peripherisches Blutgefäss eingeflösst sind, und wenn der Versuch nicht zu lange gedauert hat. Falls aber die Einspritzung centralwärts in die A. axillaris gemacht ist, passirt es sehr oft, dass die Zuckerausscheidung nicht aufhört, sondern 2—6, sogar 8 Stunden anhält. Insoweit als wir die Natur der Einwirkung des Kochsalzes (und der noch weiter unten beschriebenen Salze) auf die Medulla noch nicht kennen, können wir einstweilen nur sagen, dass die Kochsalzlösung die Medulla tiefer schädigt, wenn sie in die A. axillaris, als wenn sie in ein peripherisches Blutgefäss eingespritzt wird. Diese tiefere Einwirkung ist nichts Anderes als ein Ausdruck der höheren Concentration, in welcher die Salzlösung die Medulla trifft, wenn sie in die A. axillaris eingespritzt wird, als wenn dieselbe Menge derselben Salzlösung in ein peripherisches Blutgefäss, wo eine freiere Mischung mit dem Blut stattfinden kann, eingeführt wird.

Beiläufig möchte ich sieben Experimente erwähnen, in welchen ich versuchte, die durch Einspritzung einer $^1/_2$ oder $^1/_1$ molecularen NaCl-Lösung in die A. axillaris hervorgerufene Glykosurie durch Zusatz von $CaCl_2$ aufzuheben, indessen ohne Erfolg, selbst wenn diejenige Menge $CaCl_2$ mit Berücksichtigung der entsprechenden Concentration des Natriumchlorids eingespritzt wurde, die sich bei Verwendung einer $^1/_6$ molecularen NaCl-Lösung als wirksam erwiesen hatte. Die durch $^1/_2$ oder $^1/_1$ moleculare CaCl-Lösung herbeigeführte Glykosurie hielt nichtsdestoweniger an, ohne selbst eine Verminderung in der Menge des ausgeschiedenen Zuckers hervorzurufen. Selbst wenn eine Mischung von $^1/_2$ oder $^1/_1$ moleculare NaCl-Lösung mit $CaCl_2$ in ein gesundes Kaninchen eingespritzt wurde, kam eine Glykosurie zum Vorschein in derselben Weise, als wenn eine reine Kochsalzlösung eingespritzt worden wäre. Die Erklärung dieser Ergebnisse ist vielleicht in der ungleichen Diffusionsgeschwindigkeit der zwei Salze zu suchen.

Die Menge des ausgeschiedenen Harns hängt von der Menge der eingeflössten Salzlösung und der Concentration derselben ab[1]). Wenn nur wenig Kubikcentimeter (20—25) einer concentrirten Salzlösung eingesprizt werden — was der Fall ist, wenn die Einspritzung in die A. axillaris gemacht wird — ist die Harnsecretion gar nicht oder nur wenig gesteigert. Umgekehrt ist eine grosse Harnsecretion die Folge der Einflössung einer grösseren Menge der Salzlösung. Der Procentsatz Zucker, d. h. die Concentration des Zuckers im Harn, ist sehr variabel, und zwar läuft sie nicht der Menge des ausgeschiedenen Harns proportional, eher umgekehrt. Wenn die Menge des secernirten Harns klein ist, mag der Procentsatz Zucker zu Zeiten bis auf 7,3 % steigen. Wenn die Harnsecretion hoch ist, mag nur eine Spur Zucker vorhanden sein. Massgebend für die Schwere des Diabetes ist die **Menge** des ausgeschiedenen Zuckers worin beide diese Factoren berücksichtigt werden. In den 2—6 Stunden anhaltenden Glykosurien mögen 1—1,85 g Zucker im Harn ausgeschieden werden, woraus ohne weiteres hervorgeht, dass die Glykosurien die durch die Einspritzung concentrirter Kochsalz- (und anderer) Lösungen in die A. axillaris hervorgerufen werden den schwersten Formen des experimentellen Diabetes, die uns bekannt sind, gleichgestellt werden müssen.

Die Thatsachen, dass erstens der Procentsatz Zucker im Harn sehr variabel und nicht der Menge des abgesonderten Harns proportional ist, dass zweitens ein bedeutendes Quantum Zucker ohne eine Zunahme in der Urinausscheidung im Harn zum Vorschein kommen kann, und dass drittens eine schwere Polyurie ohne eine Spur Zucker durch verdünnte Kochsalzlösungen hervorgerufen werden kann, sind von Wichtigkeit insoweit, als Jacobj[2]) und andere die Ursache der Zuckerausscheidung nach der Einspritzung verschiedener Diuretica (einschliesslich reiner Kochsalzlösungen) in der gesteigerten Harnsecretion sehen wollen. Nach Jacobj muss folglich der Kochsalzdiabetes als ein Diabetes, der durch Änderungen in den Nieren hervorgerufen wird — als ein Diabetes renalis — angesehen werden. Ueber die Ursache der Zuckerausscheidung infolge der Eingabe diuretischer Mittel im Allgemeinen will ich mich hier nicht äussern.

---

1) Für Details siehe meine zweite Mittheilung über Glykosurie, l. c. S. 107.
2) Jacobj, Arch. f. exper. Pathol. u. Pharmak. Bd. 35 S. 213. 1895.

Der Diabetes, der durch Natrium Chlorid und die noch weiter unten erwähnten Salze hervorgerufen wird, ist aber sicher nicht ein Diabetes, dessen Ursache in einer gesteigerten Harnsecretion liegt. Wäre Jacobj's Ansicht die richtige, so müsste die Zuckerausscheidung desto schwerer sein, je höher die Diurese ist, ein Umstand, der in meinen Versuchen durchaus nicht der Fall ist. Hierin liegt ein weiterer Beweiss für die nervöse Natur des Kochsalzdiabetes. Die Kochsalzeinflössung bringt Änderungen in zwei Organen hervor. Durch ihre Wirkung auf die Niere steigert sie die Harnsecretion; durch ihre Wirkung auf die Medulla oblongata kommt es zu einer Zuckerausscheidung, dessen Menge der Einwirkung des Kochsalzes proportional ist. In dieser Weise bekommen wir eine ungezwungene und einfache Erklärung der experimentellen Ergebnisse.

VII. Ueber andere (nicht Natrium-)Salze, die eine Glykosurie hervorrufen können.

Das oben beschriebene Verfahren der langsamen Einspritzung von Salzlösungen in das centrale Ende der abgebundenen A. axillaris erlaubte mir die Wirkung von verschiedenen Salzlösungen zu untersuchen, welche bei Einspritzung in die Ohrvenen schnell tödtlich wirken. Der Tod ist wahrscheinlich durch eine giftige Wirkung dieser Salze auf das Herz bedingt, da Herzstillstand und die Symptome der Asphyxie dem Tod vorhergehen. Wenn nun die Salzlösungen in die A. axillaris eingespritzt werden, wirken sie zunächst auf die Medulla oblongata, werden aber, ehe sie das Herz erreichen, so durch das Blut verdünnt, dass sie das Leben des Thieres nicht mehr bedrohen.

Es wurden zuerst eine Anzahl einwerthige Salze gebraucht, — LiCl, KCl, NH_4Cl und die schon erwähnten benutzbaren Natriumsalze. Alle die Natriumsalzlösungen, welche sich früher als wirksam herausgestellt hatten, wenn sie in die Ohrvenen eingespritzt wurden, erwiesen sich als noch wirksamer in Bezug auf die Hervorrufung einer Glykosurie, wenn sie centralwärts in die abgebundene A. axillaris eingespritzt wurden.

NH_4Cl stellte sich als wirkungslos in dieser Hinsicht heraus, selbst wenn in der Zeiteinheit viel grössere Quanti-

täten einer äquimolecularen Lösung eingespritzt wurden, als in den Versuchen mit Natriumsalzen. Eine Hämoglobinurie (wahrscheinlich durch eine Hämolyse der rothen Blutkörperchen hervorgerufen) entwickelt sich stets kurz nach dem Beginn der NH_4Cl-Einspritzung, und fährt fort bis das Thier unter den Symptomen der Erstickung zu Grunde geht. Während dieser ganzen Zeit, die eine Stunde überschreiten mag, kommt Zucker nicht ein Mal im Harn zum Vorschein.

LiCl- und KCl-Lösungen bringen regelmässig und ebenso leicht eine Glykosurie hervor wie NaCl. Nur müssen die Einspritzungen vorsichtig gemacht werden, so dass die Kaninchen nicht bei einer zu hohen Concentration dieser Salze im Blute sterben. Die folgenden abgekürzten Protokolle mögen als Beispiele dienen, um die Hervorrufung des Diabetes durch diese Salze zu erläutern.

Protokoll B.

Graues, männliches Kaninchen. 1500 g. Für mehrere Tage mit Alfalfa, Heu, Gerste und die letzte Nacht mit Mohrrüben gefüttert. Harnblase durch Katheterisation entleert.

Injektionsflüssigkeit: $^1/_8$ moleculare KCl-Lösung.

Zeit h '	Menge der eingespritzten Salzlösung in ccm	Menge des ausgeschiedenen Harns in ccm		
11 00			Thier aufgebunden. Kein Anaestheticum	
11 55		2	Operation zur Freilegung der Arteria axillaris dextra angefangen. Harn tiefgelb. Etwas trübe	Kein Zucker
12 00			Operation beendet	
12 07			Einspritzung der $^1/_8$ molecularen KCl-Lösung in die Arteria axillaris angefangen	
12 22	25	$3^1/_2$	Gelb. Etwas trübe	Spur Zucker
12 25		$^1/_2$		Zucker! ungefähr 1,0 %
12 35	16	$1^1/_2$	Einspritzung abgebrochen Harn sehr blutig	Zucker 1,2 %
1 18		8	Sehr blutig	
1 40		1		Kein Zucker
4 15		10	Sehr blutig. Thier getödtet. Die Nieren sind blutig und die niederen Harnwege zeigen kleine subcutane Blutungen	Kein Zucker

Protokoll C.

Graues, männliches Kaninchen. 1150 g. Heute nicht gefüttert. Harnblase durch Katheterisation entleert.

Injectionsflüssigkeit: ½ moleculare LiCl-Lösung.

Zeit h ′	Menge der eingespritzten Salzlösung in ccm	Menge des ausgeschiedenen Harns in ccm		
2 30			Thier aufgebunden. Kein Anaestheticum	
3 10		8	Harn bräunlich, etwas trübe	Kein Zucker
3 37		2	Operation zur Freilegung der Arteria axillaris dextra angefangen. Harn bräunlich, etwas trübe	Kein Zucker
3 41			Operation beendet. Thier wird ungestört sich selbst überlassen	
4 19		¾	Harn bräunlich, etwas trübe	Kein Zucker
			Einspritzung der ½ molecularen LiCl-Lösung in die Arteria axillaris angefangen	
4 22	12	4	Harn heller	Kein Zucker
4 26	16	10		Zucker 0,5 %
4 32	24	15	Harn hell-gelb. Einspritzung abgebrochen	Zucker 0,5 %
4 36		17	Harn hell-gelb	Zucker 0,35 %
5 00		6		Kein Zucker
5 18		4	Harn dunkel-gelb Thier getödtet	Kein Zucker

Sodann wurden eine Anzahl Experimente mit zweiwerthigen Salzen angestellt. Ich versuchte zuerst ob $CaCl_2$, welches die Glykosurie hemmt, wenn es einer reinen Kochsalzlösung von einer nicht zu hohen Concentration zugefügt wird, für sich allein eine Glykosurie hervorrufen würde. Nach Einspritzung reiner Chlorkalciumlösungen starben aber ausnahmslos alle Kaninchen an Herzstillstand, ehe Zucker im Urin zum Vorschein kam. $MgCl_2$ wirkte in gleicher Weise tödtlich.

Sehr interessant aber ist die Thatsache, dass das dem Calciumchlorid chemisch sehr nahe stehende Strontiumchlorid eine schwere Zuckerausscheidung hervorrief, wenn nur wenige Cubikcentimeter einer ³⁄₈ molecularen Lösung in das centrale Ende der abgebundenen A. axillaris langsam eingespritzt wurden. Scheinbar genügt ein kleinerer chemisch äquivalenter Betrag $SrCl_2$, um eine Glykosurie hervorzurufen als irgend

ein anderes Salz. In den vier Versuchen, die mit $SrCl_2$ angestellt wurden, dienten 11—20 ccm einer 3/8 molecularen Lösung, um Zucker im Harn zum Vorschein zu bringen, während im Allgemeinen grössere Mengen concentrirterer Natriumsalzlösungen verlangt wurden, um dasselbe Ziel zu erreichen. In den Versuchen mit $SrCl_2$ muss noch mehr darauf geachtet werden, dass man das Versuchsthier nicht durch eine zu rasche Einspritzung tödtet als bei KCl und LiCl.

Das folgende Experiment zeigt, wie eine Glykosurie durch $SrCl_2$ hervorgerufen werden kann.

Protokoll D.

Graues, männliches Kaninchen. 750 g. Während der letzten Woche mit Heu und Gerste gefüttert.

Injectionsflüssigkeit: 3/8 moleculare $SrCl_2$-Lösung.

Zeit h '	Menge der eingespritzten Salzlösung in ccm	Menge des ausgeschiedenen Harns in ccm		
9 50			Thier aufgebunden. Kein Anaestheticum	
10 19			Operation zur Freilegung der Art. axillaris dextra angefangen	
10 23		2	Operation vollendet. Harn gelb, etwas trübe	Kein Zucker
10 53		2	Einspritzung der 3/8 molecularen $SrCl_2$-Lösung in die Art. axillaris angefangen	Kein Zucker
11 10	14	5	Einspritzung abgebrochen. Thier hat einen Krampfanfall und ist cyanotisch	Zucker 3,0 + %
12 36		5	Harn klar wie Wasser. Thier munter	
3 00		3		Zucker 3,2 + %
4 00		2	Thier munter, wird getödtet	Zucker 3,2 + %

Da eine gewisse Möglichkeit vorhanden war, dass die Wirkung der verschiedenen Salzlösungen eine rein osmotische war, indem alle die wirksamen Salzlösungen eine höhere Concentration besassen als die osmotische Concentration des Kaninchenblutes, machte ich eine Anzahl Controlversuche mit Lösungen von Nicht-Elektrolyten, die denselben oder einen höheren osmotischen Druck hatten als die wirksamen Salzlösungen. Glycerin, Harnstoff und Aethylalkohol wurden in dieser Weise benutzt. Die Einspritzung von keiner dieser

Lösungen aber brachte eine Glykosurie herbei, selbst wenn sie auf demselben Wege und in denselben oder grösseren Beträgen als die Lösungen der wirksamen Elektrolyte eingeführt wurden. Sobald aber die Einspritzung der Lösung des Nicht-Elektrolyten durch die Einspritzung einer reinen NaCl-Lösung ersetzt wurde, kam Zucker in der gewöhnlichen Weise im Urin zum Vorschein.

Im Ganzen wurden sechs Versuche angestellt, zwei mit Glycerin, zwei mit Harnstoff und zwei mit Aethylalkohol. Es wird wohl genügen nur die abgekürzten Protokolle zwei dieser Experimente hier wiederzugeben. Diese Versuche zeigen, dass die Glykosurie hervorrufenden Chemikalien nicht etwa durch eine Wasserentziehung, sondern durch einen specifisch chemischen oder physiko-chemischen Effect wirksam sind. Die Natur dieser Wirkung könnte einstweilen nur hypothetisch discutirt werden, was ohne Nutzen ist.

Protokoll E.

Graues, weibliches Kaninchen (Belg. Hase). 1700 g. Während der letzten Woche mit Heu, Gerste und Mohrrüben gefüttert.

Injectionsflüssigkeit: $^1/_1$ moleculare Aethylalkohol-Lösung, später $^1/_2$ moleculare NaCl-Lösung.

Zeit h ′	Menge der eingespritzten Salzlösung in ccm	Menge des ausgeschiedenen Harns in ccm		
4 15			Thier aufgebunden. Kein Anaestheticum	
4 46			Operation zur Freilegung der Arteria axillaris dextra angefangen	
4 50			Operation vollendet	
4 54			Einspritzung der $^1/_1$ molecularen C_2H_5OH-Lösung in die Arteria axillaris angefangen	
5 14	80	1 $^1/_2$	Einspritzung abgebrochen. Schwere Haemoglobinurie	Kein Zucker
5 25		$^1/_2$		Kein Zucker
5 52		$^1/_2$	Einspritzungsflüssigkeit gewechselt. Injection mit $^1/_2$ molecularer NaCl-Lösung angefangen.	Kein Zucker
5 56	16	$^1/_2$	} Schwere Hämoglobinurie	Kein Zucker
6 04	32	2	} Schwere Hämoglobinurie	Spur Zucker
6 08	16	3	} Thier wird getödtet	Zucker ungefähr 0,21 %

Protokoll F.

Männliches Kaninchen (Belg. Hase). 1550 g. Während der letzten Woche mit Heu, Gerste und Mohrrüben gefüttert.

Injectionsflüssigkeit: 1/1 moleculare Harnstofflösung, später 1/2 moleculare NaCl-Lösung.

Zeit h ′	Menge der eingespritzten Salzlösung in ccm	Menge des ausgeschiedenen Harns in ccm		
2 05			Thier aufgebunden. Kein Anaestheticum	
2 06		33	Gelb, etwas trübe	Kein Zucker
2 30			Operation zur Freilegung der Arteria axillaris dextra angefangen	
2 35		3	Operation vollendet. Harn gelb, trübe	Kein Zucker
2 42			Einspritzung der 1/1 molecularen Harnstofflösung in die Arteria axillaris angefangen	
2 53		2 1/2	Anfangende Haemoglobinurie	Kein Zucker
3 02	80	8 1/2	Einspritzung aufgehoben Schwere Haemoglobinurie	Kein Zucker
3 25		10		Kein Zucker
3 37			Einspritzungsflüssigkeit gewechselt. Injection mit 1/2 molecularer NaCl-Lösung angefangen	
3 43		8	Tief roth, klar	Kein Zucker
3 45	27		Einspritzung abgebrochen	
3 47		7	Tief roth, klar	Zucker 0,25 %
4 01		11	Thier ist cyanotisch. Harn tief roth	Zucker 0,31 %
4 06		9	Thier wird getödtet	Zucker 0,31 %

VIII. Zusammenfassung.

1. Die Einspritzung von 75—100 ccm pro 15 Minuten einer 1/6 molecularen NaCl-, NaBr-, NaI- oder $NaNO_3$-Lösung in die Ohrvenen oder in die oberflächlichen Venenzweige der Hüfte von Kaninchen ruft eine Polyurie und Glykosurie hervor. Die Polyurie kommt in 10—15 Minuten nach Beginn der Einspritzung zum Vorschein und dauert so lange, als die Einspritzung fortgesetzt wird (27 Stunden in einem Fall). Die Glykosurie tritt erst 2 Stunden nach Anfang der Salzeinflössung auf, und hält 6—8 Stunden an. Die Menge des im Harn ausgeschiedenen Zuckers ist zuerst klein, wächst aber schnell bis zu einem Maximum an, um allmählich wieder bis auf Null zu fallen. Der Procentsatz Zucker im Harn beim Maximum der

Glykosurie liegt über 0,40 %. Nachdem die Glykosurie bis auf Null gefallen ist, bringt eine fortgesetzte Einflössung der Salzlösungen keine weitere Zuckerausscheidung herbei, obschon die Polyurie fortfährt.

2. Die Thatsache, dass der im Harn ausgeschiedene Procentsatz Zucker in diesen Versuchen nur selten über 0,40 % steigt, veranschaulicht nicht die Schwere des Diabetes. Es muss vielmehr berücksichtigt werden, dass in diesen Versuchen durch die Einflössung der grossen Mengen Wasser die Harnsecretion in der Zeiteinheit ungefähr 10—20 Mal so gross gemacht wird wie unter normalen Umständen. Dies besagt, dass wenn der Urin nicht in dieser Weise verdünnt wäre, die Zuckerausscheidung zu Zeiten 8 % überschreitet.

3. Die intravenöse Einspritzung einer weniger als $^1/_6$ molecularen Kochsalzlösung bringt zwar immer noch eine Polyurie hervor, aber eine Zuckerausscheidung kommt entweder gar nicht oder nur in Spuren und später zum Vorschein, als wenn dasselbe Quantum einer $^1/_6$ molecularen NaCl-Lösung eingeflösst wird. Wenn Kochsalzlösungen von einer höheren Concentration als $^1/_6$ moleculare eingespritzt werden, wird eine Glykosurie desto früher herbeigebracht, je höher die Concentration der Salzlösung ist.

4. Die Zuckerausscheidung, die durch Einspritzung einer $^1/_6$ molecularen NaCl-, NaBr-, NaI- oder $NaNO_3$-Lösung hervorgerufen ist, kann herabgesetzt oder ganz gehemmt werden durch Zusatz von $CaCl_2$ zu den reinen Natriumsalzlösungen (975 ccm $^1/_6$ moleculares Natriumsalz + 25 ccm $^3/_8$ moleculares $CaCl_2$).

5. Die Kaninchen unterscheiden sich in der Leichtigkeit, mit welcher eine Glykosurie in ihnen hervorgerufen oder gehemmt werden kann. Ich habe bis jetzt aber kein Kaninchen gefunden, in welchem nicht eine Glykosurie hervorgerufen werden konnte durch Einflössung $^1/_6$ molecularer Lösungen von NaCl, NaBr, NaI oder $NaNO_3$ (oder den noch weiter unten erwähnten Salzen), wenn dieselben nur in genügenden Mengen in der Zeiteinheit eingespritzt wurden.

6. Es existiert eine gewisse Latenzzeit, bevor die specifischen Wirkungen der verschiedenen Salze zum Vorschein kommen. Wenn z. B. eine Glykosurie durch eine reine $^1/_6$ moleculare NaCl-Lösung hervorgerufen ist, hört sie nicht früher auf als ein oder zwei Stunden nach Anfang der Einspritzung der 975 ccm $^1/_6$ molecularer NaCl- + 25 ccm $^3/_8$ molecularer $CaCl_2$-Lösung. Nachdem die Zuckerausscheidung hierdurch aufgehoben ist, kann sie nicht wieder unter ein

oder zwei Stunden von Neuem nach Rückkehr zu der reinen Kochsalzlösung hervorgerufen werden.

7. Eine Anzahl Experimente, in welchen der Versuch gemacht wurde, die Wirkung concentrirter Salzlösungen so weit wie möglich zu localisiren, scheinen darauf hinzuweisen, dass der Angriffspunkt all der wirksamen Salze in der Medulla oblongata liegt. Nach dieser Auffassung ist die hier besprochene Glykosurie als ein Diabetes anzusehen, der durch Reizung des „Diabetes centrum“ verursacht ist.

8. Wenn die Wirkung der Salzlösungen localisirt wird, genügen nur wenige Kubikcentimeter einer concentrirten Salzlösung um eine Glykosurie hervorzurufen. Diese Thatsache, und die verwendete Methode der Einspritzung erlaubten das Studium einer Anzahl Salze, die sich in früheren Versuchen als unbrauchbar erwiesen hatten, vermuthlich durch ihre giftige Wirkung auf das Herz. Ausser dem schon erwähnten Natriumsalzen können auch die folgenden Salze eine Glyksurie in Kaninchen hervorrufen: LiCl, KCl, $SrCl_2$. Als unwirksam erwiesen sich NH_4Cl und als stets tödtlich $CaCl_2$ und $MgCl_2$.

9. Die Wirkung dieser Salze auf die Medulla ist nicht eine osmotische, sondern eine chemische oder physiko-chemische, denn die Einspritzung von Glycerin-, Harnstoff- oder Aethylalkohol-Lösungen von derselben osmotischen Concentration, und in demselben und grösseren Beträgen als die Lösungen der wirksamen Salze bringt keine Glykosurie hervor. Sobald aber die Einspritzung dieser Nicht-Elektrolyte durch die Einspritzung einer reinen NaCl-Lösung ersetzt wird, kommt Zucker in der gewöhnlichen Weise im Harn zum Vorschein.

10. Der Procentsatz Zucker im Harn läuft der Menge des Urinwassers nicht etwa proportional eher umgekehrt. Indessen existirt kein festes Verhältniss zwischen der Menge des ausgeschiedenen Harns und der Menge des secernirten Zuckers, — beide variiren unabhängig voneinander. Es ist möglich eine schwere Glykosurie mit kaum einer Zunahme in der normalen Menge der Harnsecretion zu bekommen. Diese Thatsachen sprechen gegen die Idee gewisser Forscher, die die Ursache der Zuckerausscheidung nach Einspritzung verschiedener Diuretica (einschliesslich reiner Kochsalzlösungen) in der gesteigerten Harnsecretion suchen.

11. Die Glykosurie ist öfters aber durchaus nicht immer von einer Albuminurie begleitet.

(Aus dem pharmakologischen Institut der Universität Greifswald.)

Über das Vorkommen von Lithium im menschlichen Organismus.

Von

Dr. Erich Herrmann.

Das Lithium hat bisher für die Medizin nur als Arzneimittel Interesse gehabt. Da es in der neueren Zeit wiederholt gelungen ist, Elemente als regelmässig vorkommend im menschlichen Organismus nachzuweisen, von denen diese Eigenschaft bisher unbekannt war oder als etwas mehr Zufälliges angesehen wurde, so lag es nahe, auch das Lithium daraufhin zu untersuchen, ob es als ein normaler Bestandteil des menschlichen Organismus anzusprechen sein dürfte. Um dieser Frage näher treten zu können, war es notwendig, zunächst eine Methode ausfindig zu machen, die es gestattete, den Nachweis etwa in menschlichen Geweben vorgefundenen Lithiums völlig einwandsfrei gestalten zu können. Ich will hier gleich von vornherein bemerken, dass ich sehr bald nach Aufnahme der analytischen Untersuchungen zu der Überzeugung kam, dass von einer quantitativen Bestimmung des Lithiongehaltes der Organe abgesehen werden müsste. In den günstigsten Fällen, die mir vorkamen, erhielt ich Reaktionen, welche dafür sprachen, dass annähernd und schätzungsweise in dem aus dem untersuchten Organ hergestellten — selbstverständlich aufs höchste konzentrierten — Auszuge das Lithium etwa im Verhältnisse von 1 : 10000 vorhanden war. Ich musste mich ein für allemal darauf beschränken, den Nachweis des Lithiums in den Organ- und Gewebsaschen mit Hilfe des Spektralapparates zu führen, der bekanntermassen für den Lithiumnachweis verhältnismässig bequem und jedenfalls absolut zuverlässig ist.

In der nachfolgenden Arbeit werde ich zunächst die Methode zu entwickeln haben, deren ich mich zum Nachweise des Lithiums bediente, darauf das Ergebnis meiner Untersuchungen bringen und zum Schluss etwaige aus denselben sich ergebende Folgerungen zu erörtern haben.

I. Methode des Lithiumnachweises.

Das Material, das ich zur Untersuchung auf seinen etwaigen Lithiumgehalt benutzte, entstammte mit einigen wenigen, später noch genauer anzugebenden Ausnahmen von Leichen aus der hiesigen Anatomie und aus dem pathologisch-anatomischen Institut. Es galt zunächst, das mir zur Hand stehende organische Material zu veraschen, da ohne den vorgängigen Prozess der völligen Zerstörung des Organischen der Lithiumnachweis nicht zu erbringen gewesen wäre. Da das Lithium bekanntermassen als zufälliger Begleiter einer ganzen Reihe von unorganischen Stoffen nicht gerade selten ist, so musste ich schon beim Veraschen Rücksicht darauf nehmen, dass die zu diesem Prozess nötigen Geräte absolut lithionfrei waren. Ich verfuhr deshalb so, dass zunächst die frischen Organe und Gewebe in grossen Schalen aus reinem Nickel über der Gasflamme verkohlt wurden. Dann wurde die Kohle in besonders zu diesem Zweck hergestellten flachen Schalen aus Eisenblech im Muffelofen verascht.

Diese Methode sicherte mich zwar davor, dass nicht aus den zur Arbeit notwendigen Apparaten Lithion in die Asche gelangen konnte; sie hatte aber den Nachteil, dass die Asche immer ziemlich stark mit Eisenoxyd verunreinigt wurde. Es war deswegen untunlich, die Asche zu wiegen, was allerdings für etwaige späterhin vielleicht wünschenswerte Vergleiche von Vorteil gewesen wäre. Eine andere Methode konnte ich aber nicht finden. Der Gebrauch von hessischen Tiegeln war von vornherein ausgeschlossen, da man nie wissen kann, ob dieselben nicht etwa lithionhaltig sind. Ich habe versucht, an Stelle der eisernen Porzellanschalen zu nehmen; diese zersprangen aber regelmässig, wenn die Erwärmung derselben auch noch so vorsichtig geleitet wurde.

Da es sich um eine verhältnismässig grosse Zahl von Einzelbestimmungen handelte und die einzelnen Organe unter Umständen nicht unbeträchtliche Mengen von Kohle lieferten, so war ich gezwungen, zum Veraschen grössere Gefässe anwenden zu müssen, um überhaupt weiterzukommen. Der Gebrauch von Platinschalen war von vornherein ausgeschlossen: einmal durch den Kostenpunkt und dann deswegen, weil die allen Organaschen anhaftende Phosphorsäure es notwendig macht, die Veraschung äusserst vorsichtig zu leiten, um die Platinschalen nicht zu ruinieren.

Dass unsere Nickel- und Eisenschalen lithionfrei waren, ergibt

sich daraus, dass die Untersuchungen der Asche auf Lithium in einer ganzen Reihe von Fällen resultatlos verlief. Die fertiggestellten Aschen wurden dann für sich in sorgfältig gereinigten und absolut trockenen, mit Glasstopfen verschlossenen Präparatengläsern gesammelt und bis zur weiteren Verarbeitung beiseitegestellt.

Die Anwesenheit grösserer Mengen von Phosphorsäure, die ja, wie eben schon erwähnt und bekannt ist, in Organasche nie fehlt, erschwert den Nachweiss des Lithiums. Das phosphorsaure Lithium ist in alkalischen Medien nahezu unlöslich. Es kann deshalb beim gewöhnlichen Gang der qualitativen Analyse, wenn die alkalischen Erden ausgefällt werden, sehr leicht phosporsaures Lithium mit ausfallen, auch bei Gegenwart von Chlorammonium und besonders dann, wenn es nur in sehr geringfügiger Menge vorhanden ist. Um den durch die Phosphorsäure bedingten Übelstand zu vermeiden, gibt Fresenius in „Qualitative chemische Analyse“ (16. Aufl. § 249, S. 471) folgendes Verfahren an:

Man nimmt den (bei der Mineralwasseranalyse erhaltenen schliesslichen) Rückstand in Wasser unter Zusatz eines Tropfens Salzsäure auf, fügt ein wenig Eisenchlorid und so viel Kalkmilch zu, dass die Flüssigkeit stark alkalisch reagiert, kocht, filtriert, fällt das Filtrat mit oxalsaurem Ammon, filtriert die nun von Phosphorsäure und alkalischen Erden befreite Flüssigkeit ab, verdampft sie zur Trockene, glüht gelinde, bis die Ammonsalze entwichen sind, behandelt den Rückstand nach Zusatz eines Tropfens Salzsäure mit einer Mischung von absolutem Alkohol und wasserfreiem Äther, filtriert die Lösung ab und konzentriert sie durch Abdampfen.

Ich habe dies Verfahren versucht, es stellte sich aber heraus, dass es eine — allerdings unerwartete — Fehlerquelle in sich schloss. Ich werde nachher den Nachweis zu erbringen haben, worin diese Fehlerquelle bestand, und will zunächst die Methode schildern, deren ich mich bei den sämtlichen aufgeführten Analysen bedient habe.

Das Verfahren, welches sich mir als das zweckmässigste und zugleich vollständig einwandsfreie ergab, beruht auf der Eigenschaft des phosphorsauren Bleis, in Essigsäure unlöslich zu sein, während das essigsaure Lithium sich in Wasser leicht löst. Ich verfuhr also regelmässig in folgender Weise:

Die Asche wurde zunächst mit der Pinzette von etwa vorhandenen grösseren Partikeln von Eisenoxyd, das aus den Veraschungsschalen stammte, befreit. Dann wurde sie im Achatmörser

staubfein verrieben. Die ganz fein pulverisierte Ache wurde dann in einen Erlenmeyer'schen Kolben gebracht, der etwa 250 ccm fasste. Darauf wurde die Asche übergossen mit einer Mischung von Eisessig mit Wasser. Auf je 1 g Asche kamen 10 ccm Eisessig; darauf wurden 25—50 ccm destillierten Wassers zugesetzt. Dieser Ansatz wurde unter Benutzung des Rückflusskühlers fünf Stunden lang im Kochen gehalten. Nach Ablauf dieser Zeit wurde die stark saure und intensiv nach Essigsäure riechende Flüssigkeit heiss filtriert und das Filtrat mit einer gesättigten Lösung von essigsaurem Blei so lange versetzt, als noch ein Niederschlag von weissem phosphorsaurem Blei auftrat. Nach dem Absitzen des Niederschlages wurde derselbe abfiltriert, das klare Filtrat mit Ammoniak neutralisiert und nun zur Entfernung sowohl überschüssig zugesetzten Bleis wie auch des von der Verkohlung und Veraschung herrührenden Nickel- und Eisengehaltes mit Schwefelammon versetzt. Die ausgeschiedenen Sulfide wurden abfiltriert und das Filtrat etwa auf ein Drittel seines Volumens in einer Glasschale auf dem Wasserbade eingeengt. Nachdem der hierbei etwa ausgeschiedene Schwefel durch Filtrieren beseitigt worden war, wurde das Filtrat mit Ammoniak bis zur deutlich alkalischen Reaktion versetzt und der etwa vorhandene Kalk durch Zusatz von oxalsaurem Ammonium ausgefällt. Das von dem hierbei entstehenden Niederschlage befreite Filtrat wurde sodann in einer geräumigen Platinschale bis zur Trockenheit eingedampft. Der verbleibende Rückstand bestand aus oxalsaurem Ammonium und den in der Asche ursprünglich vorhanden gewesenen Alkalien. Um den Überschuss von oxalsaurem Ammonium zu entfernen, wurde die Platinschale vorsichtig über der Gasflamme erhitzt. Es entwickelten sich dabei reichlich Dämpfe, die sich schliesslich, wenn das Erhitzen der Schale weiter getrieben wurde, entzündeten und herunterbrannten. Schliesslich wurde die Platinschale bis zur dunklen Rotglut erhitzt, wobei zum Schluss eine von noch anhaftender Kohle schwarz gefärbte Schmelze zurückblieb. Diese Schmelze wurde nach dem Erkalten mit destilliertem Wasser befeuchtet und dann konzentrierte Salzsäure hinzugefügt. Nachdem die hierbei auftretende Entwicklung von Kohlensäure ihr Ende gefunden hatte, wurde die Lösung mit absolutem Alkohol im Überschuss übergossen. Dies hatte den Zweck, schon jetzt das in der Lösung vorhandene Chlornatrium und Chlorkalium möglichst zu entfernen. Die entsprechende Lithiumverbindung ist bekanntlich in Alkohol sehr

leicht löslich. In der Tat schieden sich dann auch bei dem Zusatz von Alkohol regelmässig die obengenannten Chloride mehr oder weniger reichlich aus. Sie wurden abfiltriert, und das Filtrat in einem kleinen Erlenmeyer'schen Kölbchen allmählich bis auf 110° erhitzt. Dabei verflüchtigt sich der Alkohol und das Wasser, es bleibt ein geringer Rest von Salz zurück. Nach dem völligen Abkühlen wurde dieser Rückstand, der das Lithium enthalten musste, wenn es überhaupt in der verarbeiteten Asche vorhanden gewesen war, mit einem Tropfen konzentrierter Salzsäure versetzt und dann 30 ccm einer Mischung von gleichen Teilen Äther und Alkohol darauf gegossen. Das Kölbchen blieb dann verschlossen unter wiederholtem Umschütteln mit seinem Inhalt etwa zwölf Stunden sich selbst überlassen. In dieser Zeit konnte das etwa in dem Salzrückstand vorhandene Chlorlithium von der Alkoholäthermischung aufgenommen werden. Es wurde dann die Flüssigkeit von dem ungelöst gebliebenen Salzrest abfiltriert in eine kleine Glasschale, auf dem Wasserbade bis zur vollständigen Trockenheit eingedampft und der etwa verbleibende, zuweilen kaum sichtbare Rest mit einem Tropfen konzentrierter Salzsäure aufgenommen. Dieser Tropfen wurde dann am Spektralapparat auf Lithium geprüft.

Ich will hierbei noch bemerken, dass ich zur schliesslichen möglichsten Isolierung des Lithiums auch das von Gooch angegebene Verfahren der Extraktion des angesäuerten Salzrückstandes mit Amylalkohol wiederholt versucht habe.[1] Ich habe mich indessen nicht davon überzeugen können, dass dies Verfahren — wenigstens für meine Untersuchungen — einen wesentlichen Vorteil vor der von mir benutzten Methode des Ausziehens mit Alkoholäther besessen hätte. Ich habe aus diesem Grunde denn auch bei allen in der Folge mitzuteilenden Analysen immer nur mit dem Alkoholäthergemisch gearbeitet.

Um mich davon zu überzeugen, ob der von mir benutzte Spektralapparat die nötige Empfindlichkeit besässe, und gleichzeitig zu erfahren, welches die geringste Menge des mit demselben noch nachweisbaren Lithiums sein möchte, machte ich zunächst einige Proben. Nachdem in dem Spektralapparat die Lithiumlinie durch Verglühen von Chlorlithium festgestellt und mit Hilfe des Fadenkreuzes ein für allemal markiert war, prüfte ich Lösungen von bekanntem, abnehmendem Gehalt. Ich verfuhr dabei so, dass die Öse des hierbei benutzten Platindrahtes in die Flüssigkeit eingetaucht

wurde, so dass sich ein deutlicher Tropfen in der Öse bilden konnte. Das Gewicht dieses Tropfens stellte ich mit Hilfe einiger Wägungen fest als 0,01 g im Mittel betragend. Bei der Untersuchung wurde dann dieser Tropfen in die äussere Flamme des Bunsen-Brenners gebracht und gleichzeitig das Spektrum beobachtet. Die Beobachtungen hat Herr Geheimrat Professor Dr. Schulz regelmässig mit mir gleichzeitig vorgenommen. Es konnten dadurch die einzelnen Befunde jedesmal kontrolliert werden.

Zunächst löste ich 0,1 g Lithiumkarbonat unter Zusatz von drei Tropfen Salzsäure in 100 cbm destillierten Wassers auf. 0,1 g Lithiumkarbonat entspricht rund 0,02 g Lithium, richtiger 0,0189. Ich hatte also eine Lösung, welche in 5000 Teilen einen Teil Lithium enthielt. Eine Probe dieser Lösung ergab ein sehr lange anhaltendes, prächtig leuchtendes Lithiumspektrum. Gleichzeitig wurde auch die Flamme des Bunsen-Brenners noch deutlich gerötet. Von dieser Lösung ausgehend, stellte ich mir sodann noch zwei weitere her, welche einen Lithiumgehalt von 1:50000 und 1:500000 besassen. Die erstgenannte gab regelmässig noch eine sehr kräftige Lithiumlinie. Die Lösung 1:500000, tropfenweise mit Hilfe des Platindrahtes in die Flamme gebracht, liess im Spektralapparat die Lithiumlinie ebenfalls noch deutlich erkennen, wenngleich wesentlich abgeschwächt gegenüber dem Spektrum, welches die zehnfach stärker konzentrierte Lösung ergeben hatte. Da, wie oben schon angegeben, jeder mit der Platinöse in die Flamme gebrachte Tropfen rund 0,01 g wog, so enthielt derselbe bei der Prüfung der am stärksten verdünnten Lösung ein fünfzigmillionstel Gramm Lithium. So viel liess sich also mit dem mir zur Verfügung stehenden Spektralapparat nachweisen.

Ich habe bereits zu Eingang dieser Arbeit angegeben, dass es unmöglich war, den Lithiumgehalt in den einzelnen Organen quantitativ zu bestimmen. Ich hätte allerdings ja den Versuch machen können, schätzungsweise die aus der Asche der Gewebe gewonnene Lithiumreaktion im Spektralapparat zu vergleichen mit den Spektren, welche meine Lithiumlösungen von bekanntem Gehalt gegeben hatten. Doch ist ohne Zweifel zuzugeben, dass derartige Schätzungen von sehr geringem Werte sind und auch im besten Falle höchstens annäherungsweise eine Anschauung über die wirklichen Verhältnisse geben können. Ich habe durchweg die Erfahrung gemacht, dass die Lungenaschen die besten Reaktionen im Spektralapparate lieferten. Die Lithiumlinie erschien hier mit einer Intensität etwa der zu ver-

gleichen, welche von einer Lösung, die das Element im Verhältnis 1:50000 enthielt, hervorgebracht wurde. Wenn man überlegt, dass eine derartige Reaktion dadurch gewonnen wurde, dass eine ganze menschliche Lunge auf ihren Lithiumgehalt hin verarbeitet werden musste, so begreift es sich leicht, dass jeder Versuch, etwa gewichtsanalytisch das Lithium in den Organen zu bestimmen, illusorisch erscheinen musste.

II. Prüfung der Reagentien und Apparate.

Es ist eine bekannte Tatsache, dass das Lithium in einer viel grösseren Verbreitung, wenn auch überall nur in Spuren, aufgefunden werden kann, als für gewöhnlich angenommen wird. Ich musste also, um hinsichtlich etwa zu erhaltender Lithiumbefunde vollständig sicher zu sein, dass weder aus den angewandten Chemikalien noch aus dem destillierten Wasser und endlich aus den Glasgefässen, welche ich bei meiner Arbeit brauchte, Lithium in das zu untersuchende Material hineingelangt sein könnte, mir zunächst die absolute Gewissheit verschaffen, dass ich mit völlig lithiumfreien Hilfsmitteln arbeitete.

Ich werde im folgenden zu berichten haben, wie die einzelnen Teile meines Arbeitsmaterials sich in dieser Hinsicht verhalten haben.

a) Der Kalk.

Man wird sich erinnern, dass ich gezwungen war, von dem Verfahren Abstand zu nehmen, welches Fresenius angibt, um bei reichlichem Vorhandensein von Phosphorsäure diese zunächst zu entfernen. Ich hatte die hierzu notwendige Kalkmilch zunächst aus käuflichem Ätzkalk hergestellt. Ein Teil derselben wurde in Salzsäure gelöst, aus der Lösung mit oxalsaurem Ammonium in bekannter Weise der Kalk entfernt und der Rückstand weiterhin auf Lithium verarbeitet und untersucht. Das Resultat war das, dass sich im Spektralapparate mit grösster Deutlichkeit das Lithium nachweisen liess.

Da der käufliche Ätzkalk ja an und für sich nicht gerade als chemisch rein anzusehen ist, so erschien der eben mitgeteilte Befund bei einiger Überlegung nicht weiter auffallend. Es liess sich erwarten, dass ein reineres Material sich einwandsfrei verhalten würde. Ich bezog deswegen aus einer chemischen Fabrik aus Marmor her-

gestellten Ätzkalk. Aber auch dieser gab die Lithiumlinie als Endergebnis seiner Prüfung auf etwaigen Lithiumgehalt.

Ich beschloss endlich, das denkbar reinste Material, isländischen Doppelspat, zu versuchen. Aus dem hiesigen mineralogischen Institut erhielt ich ausgesuchte Doppelspatkristalle in einer Menge von 60 g. Ich beschloss, dieselben nach zwei verschiedenen Verfahren hin zu verarbeiten. Es wurden die 60 g zunächst in verdünnter Salzsäure gelöst. Die Salzsäure war vorher selbstverständlich auf ihren Lithiumgehalt untersucht und frei davon befunden worden. Die vollständig farblose salzsaure Lösung wurde filtriert, das Filtrat mit destilliertem Wasser, welches ebenfalls nachweislich — wie auch die weiter noch benutzten Reagentien — kein Lithium enthielt, auf 500 ccm verdünnt. 250 ccm dieser Lösung wurden mit Ammoniak alkalisch gemacht und Ammoniumkarbonat im Überschuss zugesetzt. Der hierdurch gebildete Niederschlag wurde abfiltriert, das Filtrat in einer Platinschale eingedampft und nach dem Trocknen der verbleibende Rückstand mässig geglüht. Der dann noch in der Schale befindliche minimale, weissgefärbte Rest wurde mit etwas konzentrierter Salzsäure aufgenommen und sodann mit absolutem Alkohol übergossen. Nach einigem Stehen wurde der Alkohol abfiltriert, das Filtrat zur Trockne eingedampft, der Rückstand wieder in einem Tropfen konzentrierter Salzsäure aufgenommen. Diese Lösung wurde dann spektralanalytisch geprüft. Das Spektrum ergab das Vorhandensein von Calcium, Natrium, Kalium und Lithium. Die Lithiumlinie war zwar nicht sehr intensiv, aber absolut deutlich sichtbar.

Die andere Hälfte der ursprünglichen Lösung wurde nach der Neutralisation mit Ammoniak mit oxalsaurem Ammonium behandelt. Der ausgeschiedene oxalsaure Kalk wurde abfiltriert und das Filtrat genau so behandelt, wie vorher angegeben. Die schliesslich vorgenommene spektralanalytische Untersuchung ergab genau dasselbe Resultat wie vorher.

Es war damit der Nachweis erbracht, dass, wenn man bei einer Prüfung auf Lithium vollkommen und sicher überzeugt sein will, dass man nicht durch die Reagentien das gesuchte Element in die Analyse hereingebracht hat, das von Fresenius angegebene Verfahren sich nicht eignet.

b) Das destillierte Wasser.

Das zu meinen Versuchen benutzte destillierte Wasser wurde im pharmakologischen Institut hergestellt und in einem grossen Glasballon aufbewahrt. Da ich gefunden hatte, dass das gesamte Flüssigkeitsquantum, welches ich bei jeder einzelnen Analyse zu verbrauchen hatte, im höchsten Falle eine Menge von 500 ccm ausmachte, so habe ich, um die nötige Garantie für die Abwesenheit des Lithiums im destillierten Wasser zu haben, jedesmal ein Liter desselben auf Lithium verarbeitet. Ich habe jedesmal, wenn frisches destilliertes Wasser hergestellt war, eine Probe davon untersucht und ebenso eine gleich grosse Menge von dem schliesslich in dem Sammelballon verbliebenen Rest. Das destillierte Wasser wurde einmal in einer Porzellanschale, dann immer in ein und derselben Glasschale bis zur Trockne auf dem Wasserbade eingedampft. Dann wurde die Schale mit einigen Tropfen verdünnter Salzsäure ausgespült und diese salzsaure Lösung am Spektralapparat untersucht. Mit einer einzigen Ausnahme, auf die ich gleich noch kommen werde, habe ich am Spektralapparat immer nur die Anwesenheit von Natrium, Kalium und Calcium feststellen können. Ein einziges Mal erhielt ich, wie gesagt, zu meiner grossen Überraschung ein allerdings äusserst schwaches Lithiumspektrum aus dem destillierten Wasser. Es war mir zunächst völlig unklar, wie dasselbe hatte hineingeraten können, da ich doch bis dahin nie Lithium im destillierten Wasser gefunden hatte. Eine genauere Nachforschung ergab, dass der Institutsdiener die Wasserblase des Destillierapparates zu hoch angefüllt hatte, und es war, wie er zugeben musste, beim Beginn der Destillation infolge des starken Kochens ein Schuss Wasser aus der Blase durch die Kühlschlange gelaufen. Damit war es erklärlich geworden, weshalb ich nun mit einem Male eine Lithiumreaktion erhielt. Dieselbe war übrigens so schwach, dass sie nur eben angedeutet erschien. Ihre Intensität entsprach noch nicht derjenigen, welche eine Lithiumlösung 1:500000 im Spektalapparat ergab. Dass dies verunreinigte destillierte Wasser sofort verworfen wurde, ist selbstverständlich. Ich habe aber, um für die Folgezeit sicher zu sein, dass nicht Reste desselben, die an den Wänden des Ballons haften konnten, das frisch hergestellte destillierte Wasser verunreinigten, den Ballon mit Salzsäure ausgespült, dann wiederholt mit Leitungswasser den Ballon wieder salzsäurefrei gemacht und

endlich denselben, als er bei der neuen Destillation etwa zur Hälfte wieder mit destilliertem Wasser gefüllt war, nochmals mit diesem ausgespült. Ich habe dann auch in der Folge nie wieder Lithium in meinem destillierten Wasser gefunden.

Der Umstand, dass ich mich zum Eindampfen des destillierten Wassers immer ein und derselben Glasschale bedient habe und, wie gesagt, in den Eindampfungsrückständen niemals Lithium nachweisen konnte, lehrt, dass das Glas der Schale während des Eindampfens kein Lithium an das Wasser hatte abgeben können.

c) Die Essigsäure.

Ich habe zu meinen Analysen stets Eisessig verwendet. Ich bezog denselben in grösseren Quantitäten und bin mit zwei Lieferungen ausgekommen. Bei jeder einzelnen Analyse habe ich zum höchsten 100 ccm Eisessig nötig gehabt, in der Mehrzahl der Fälle viel weniger. Ich habe von der ersten Lieferung 200, von der zweiten 500 ccm auf Lithium in der Weise untersucht, dass die Essigsäure in einer Glasschale bis völlig zur Trockne eingedampft wurde. Der Rückstand wurde mit einigen Tropfen verdünnter Salzsäure aufgenommen. Ich habe in beiden Fällen am Spektralapparat nur die Anwesenheit von Natrium, Kalium und Calcium konstatieren können.

d) Das Ammoniak.

Den Liquor ammonii caustici habe ich zu drei verschiedenen Malen ebenfalls wieder in grösseren Quantitäten anschaffen müssen. Jedesmal habe ich von dem frisch bezogenem Material je 200 ccm in einer Glasschale verdampft und dann weiter ebenso geprüft, wie bei der Essigsäure angegeben. Ich habe im Spektralapparat stets nur Natrium, Kalium und Calcium nachweisen können.

e) Die Salzsäure.

Von der Salzsäure war nach der Art der von mir benutzten Methode die geringste Quantität notwendig. Ich habe mit dem einmal bezogenen Material alle Analysen durchführen können. 100 ccm der Salzsäure, in einer Glasschale eingedampft, ergaben schliesslich auch nur wieder die Spektra des Natriums, Kaliums und Calciums.

f) Das Ammonoxalat.

Von dem Ammonoxalat stellte ich mir ein grosses Quantum gesättigter Lösung her. Von den zweimal frisch bereiteten Lösungen

wurden je 200 ccm in einer Platinschale eingedampft und der Rückstand verglüht; der dann bleibende Rest ergab, in Salzsäure aufgenommen, im Spektralapparat die Linien des Natriums, Kaliums und Calciums.

g) Das essigsaure Blei.

Das essigsaure Blei wurde ebenfalls in gesättigter Lösung, hergestellt aus dem ungelöst bezogenen Präparat, vorrätig gehalten. 200 ccm derselben wurden mit selbst dargestelltem Schwefelammon ausgefällt. Zur Herstellung des Schwefelammons war das vorher schon geprüfte Ammoniak verwendet worden. Das von dem ausgeschiedenen Schwefelblei befreite Filtrat wurde zunächst in einer Glasschale eingeengt, der dabei ausgeschiedene Schwefel abfiltriert und das Filtrat in einer Platinschale ebenso weiter verarbeitet, wie beim oxalsauren Ammonium angegeben. Auch hier fand ich niemals Lithium. Als ich aber zum Schluss meiner ganzen Arbeit noch einmal sämtliche Reagentien durchprüfte und dabei mit etwas weiterem Spalt wie gewöhnlich am Spektralapparat arbeitete, erhielt ich aus 200 ccm gesättigter Lösung doch eine, wenn auch äusserst schwache Lithiumreaktion. Alle anderen Reagentien hatten unter denselben Beobachtungsbedingungen die Probe auf Abwesenheit von Lithium ausgehalten. Das unerwartete Ergebnis, welches mir das essigsaure Blei geliefert hatte, veranlasste mich, sofort vergleichende Proben anzustellen mit Lithiumlösungen von bekanntem Gehalt, um wenigstens annähernd zu erfahren, wieviel Lithium in dem essigsauren Blei steckte. Es stellte sich heraus, dass eine absichtlich hergestellte Lösung mit einem Lithiumgehalt von 1 : 500000 eine wesentlich stärkere Reaktion ergab wie die, welche ich aus dem essigsauren Blei erhalten hatte. Weiterhin will ich nicht unterlassen darauf hinzuweisen, dass zu der Prüfung der Bleilösung, ebenso wie bei allen anderen Reagentien, ein viel grösseres Quantum in Arbeit genommen war, als selbst im äussersten Falle bei den Organuntersuchungen sich als notwendig erwiesen hatte. Ich habe nie über 50 ccm der gesättigten Bleilösung zur Ausfällung der Phosphorsäure notwendig gehabt, und bei den Prüfungen regelmässig 200 ccm, also viermal so viel, in Arbeit genommen. Ich glaube demnach, so unerfreulich die Erfahrung auch war, die ich am Schluss meiner Arbeit noch machen musste, doch sagen zu können, dass dieselbe einen wesentlichen Einfluss auf das Gesamtresultat nicht hat ausüben können. Ich habe bei den Organanalysen da, wo die Lithiumreaktion

so schwach ausfiel, dass man im Zweifel bleiben konnte, ob auch nicht eine Täuschung bei der Beobachtung mit im Spiele sei, das Endergebnis ausdrücklich als fraglich hingestellt.

h) Der Alkohol und der Äther.

Von dem Alkohol wie auch von dem Äther wurden je 50 ccm in einer Glasschale verdampft. Der mit Salzsäure aufgenommene Rückstand ergab nur die Natriumlinie.

Nachdem ich mich auf diese Weise versichert hatte, dass meine Reagentien zuverlässig waren, käme jetzt nur noch in Frage der Punkt, ob die von mir benutzten Glasgefässe Lithium abgeben konnten. Die Möglichkeit dafür konnte ja vorhanden sein, ich habe aber nie irgendwelche Andeutung dafür erhalten. Das ganze Glasmaterial, dessen ich mich bediente, ist im Verlauf der Ausführung meiner Arbeit dasselbe geblieben. Ich habe schliesslich noch zwei Analysen vollständig mit den gewohnten Mengen von destilliertem Wasser und den nötigen Reagentien unter Beobachtung derselben Zeitverhältnisse ausgeführt, wie sie bei den früheren Analysen notwendig gewesen waren. Der einzige Unterschied gegen vorher bestand nur darin, dass diese Analysen blinde waren, d. h. ohne Organasche angestellt wurden. Ich wollte mich so noch einmal davon überzeugen, dass die von mir benutzte Methode wirklich den Anspruch auf absolute Sicherheit erheben konnte.

Es durfte ja doch immerhin an die Möglichkeit gedacht werden, dass die einzelnen von mir benutzten Reagentien doch nicht absolut lithiumfrei waren. Das Element konnte ja in den einzelnen Reagentien und in den von mir geprüften Quantitäten nur in so minimaler Menge sich befinden, dass im Einzelfall die Spektralanalyse ergebnislos bleiben musste. Aber vielleicht konnte schliesslich doch Lithium in die einzelnen Analysen dadurch hineingelangen, dass der angenommene minimale Gehalt der einzelnen Reagentien sich summierte.

Bei der enormen Empfindlichkeit des spektralanalytischen Nachweises des Lithiums durfte dieser Punkt jedenfalls nicht einfach vernachlässigt werden.

Das Ergebnis der zur Klärung dieser Frage in der in oben angegebener Weise ausgeführten Analysen verlief hinsichtlich des schliesslichen Lithiumnachweises vollständig negativ.

III. Die analytischen Ergebnisse.

1. Organe Erwachsener und mehrere Jahre alter Kinder.

Ich werde im folgenden zunächst nur diejenigen Resultate zu besprechen haben, welche ich bei der Untersuchung von Organen und Organteilen Erwachsener und älterer Kinder erhalten habe. Da ich, wie leicht einzusehen ist, vollständig im ungewissen mich befand, wo das Lithium gegebenenfalls sich vorfinden würde, so musste ich ohne Auswahl alles untersuchen, was ich an Organen und Geweben irgendwie erhalten konnte.

Der besseren Übersicht wegen werde ich die analytischen Ergebnisse nach Organen und Geweben geordnet nunmehr hier folgen lassen. Ich will noch bemerken, dass ich bei jeder Analyse die für Natrium und Kalium charakteristischen Linien aufgefunden habe; dieselben sind deswegen bei den gleich anzugebenden Ergebnissen einfach weggelassen.

A. Knochen.

1. Handwurzelknochen, Metatarsen und Fingerphalangen mit Bändern und Aponeurosen von der linken Hand eines erwachsenen Individuums; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

2. Diaphysenstücke von rechtem und linkem Femur, Tibia und Fibula eines älteren Individuums; aus dem anatomischen Institut; konservierte Leiche. — Lithium: sehr starke Reaktion.

3. Dasselbe Material wie bei Nr. 2, der Sicherheit wegen noch einmal untersucht. — Lithium: starke Reaktion.

4. Epiphysenstücke derselben Knochen wie bei Nr. 2. — Lithium: starke Reaktion.

5. Sternum und Rippenknorpel eines anscheinend im mittleren Lebensalter stehenden Individiums; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

B. Bindegewebe.

6. Bindegewebe um Aorta, Trachea und Kehlkopf mit Lymphdrüsen und kleinen Blutgefässen, von drei Personen; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: starke Reaktion.

7. Bindegewebe um Aorta, Trachea und Kehlkopf von zwei Personen, dazu Bindegewebe mit Fettgewebe aus dem kleinen Becken von einer derselben; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: starke Reaktion.

8. Bindegewebe um die Aorta mit einzelnen Lymphdrüsen, Herkunft unbekannt; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

9. Bindegewebe um Aorta und Ösophagus mit Lymphdrüsen von einer 27jährigen Frau, Todesursache unbekannt; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: schwache Reaktion.

10. Bindegewebe um Aorta, Trachea und Ösophagus einer 50jährigen Frau, Tod an Aortenaneurysma, ohne die grösseren Lymphdrüsen; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

11. Bindegewebe aus dem kleinen Becken, dazu das um Aorta und Trachea mit Lymphdrüsen, herstammend von einem 18jährigen Mädchen, Tod an Typhus; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: starke Reaktion.

12. Fetthaltiges Bindegewebe mit Lymphdrüsen aus dem kleinen Becken von zwei Personen: a) 27jährige Frau, Tod an Magenkrebs; b) 46jähriger Mann, Tod an Meningitis; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: starke Reaktion.

13. Bindegewebe um Aorta mit Lymphdrüsen von einem 46jährigen Mann, Tod an Meningitis; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: starke Reaktion.

14. Bindegewebe um Aorta mit Lymphdrüsen von einem 63jährigen Mann, Tod durch Schädelfraktur; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: gute Reaktion.

15. Bindegewebe um Trachea und Kehlkopf von zwei Personen: a) 7jähriges Mädchen, Tod an Croup; b) 37jährige Frau, Tod an jauchiger Peritonitis; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: sehr schwache Reaktion.

C. Lunge.

16. Vier Lungenflügel unbekannter Herkunft, Unterlappen mit etwas Hypostase; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: sehr starke Reaktion.

17. Zwei Lungenflügel unbekannter Herkunft, Unterlappen mit etwas Hypostase; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: sehr starke Reaktion.

18. Ein Lungenflügel unbekannter Herkunft, gesund; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: starke Reaktion.

19. Ein Lungenflügel mit alter Pleuritis und Hypostase, Herkunft unbekannt; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: starke Reaktion.

20. Zwei Lungenflügel mit Hypostase in den Unterlappen von einer 27jährigen Frau; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: sehr starke Reaktion.

21. Zwei Lungenflügel mit alter Pleuritis und hypostatischer Pneumonie von einer 50jährigen Frau; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: sehr gute Reaktion.

22. Zwei Lungenflügel mit genuiner Pneumonie von einem 11jährigen Knaben, Tod an Diphtherie; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: schwächere Reaktion.

23. Zwei gesunde Lungenflügel einer 27jährigen Frau, Tod an eitriger Peritonitis; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: starke Reaktion.

24. Zwei Lungenflügel mit ganz geringer Hypostase von einem 18jährigen Mädchen, Tod an Typhus; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: sehr starke Reaktion.

25. Zwei Lungenflügel von einem 79jährigen Mann mit Emphysem und schlaffer Hepatisation des linken Unterlappens, Tod an Pyelonephritis; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: sehr starke Reaktion.

26. Zwei gesunde Lungenflügel von einem 45jährigen Mann, Tod durch Pufferquetschung; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: besonders starke Reaktion.

D. Herz.

27. Drei normale Herzen unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: starke Reaktion.

28. Zwei normale Herzen unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: gute Reaktion.

29. Ein normales Herz unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: sehr schwache, fast fragliche Reaktion.

30. Ein normales Herz unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

31. Ein normales Herz unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: fragliche Reaktion.

32. Ein normales Herz unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

33. Das normale Herz einer 27jährigen Frau, Todesursache nicht bekannt; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: sehr schwache, zweifelhafte Reaktion.

34. Das hypertrophische Herz einer 50jährigen Frau, Tod an Aortenaneurysma; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

35. Drei normale Herzen aus dem pathologischen Institut: a) 11jähriger Junge, Tod an Diphtherie; b) 23jährige Frau, Tod an eitriger Peritonitis; c) 79jähriger Mann, Tod an Pyelonephritis. — Lithium: starke Reaktion.

36. Zwei normale Herzen aus dem pathologischen Institut: a) 18jähriges Mädchen, Tod an Typhus; b) 27jährige Frau, Tod an Magenkrebs. — Lithium: gute Reaktion.

37. Das normale Herz eines 46jährigen Mannes, Tod an Meningitis; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: sehr fragliche Reaktion.

38. Das normale Herz einer 37jährigen Frau, Tod an jauchiger Peritonitis; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: sehr schwache Reaktion.

39. Drei normale Herzen aus dem pathologischen Institut: a) 7jähriges Mädchen, Tod an Croup; b) 45jähriger Mann, Tod durch Pufferquetschung; c) 62jähriger Mann, Tod durch Schädelfraktur. — Lithium: gute Reaktion.

E. Gefässe (Aorta).

40. Vier normale Aorten unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

41. Die Aorta einer 50jährigen Frau mit starker Atheromatose und Aneurysma; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: schwache Reaktion.

42. Vier normale Aorten aus dem pathologischen Institut: a) 18jähriges Mädchen, Tod an Typhus, b) 27jährige Frau, Tod an Magenkrebs; c) 46jähriger Mann, Tod an Meningitis, d) 62jähriger Mann, Tod durch Schädelfraktur. — Lithium: sehr schwache, zweifelhafte Reaktion.

43. Vier normale Aorten und Arterienstücke aus dem pathologischen Institut; Herkunft unbekannt. — Lithium: schwache Reaktion.

44. Die atheromatösen Stellen zweier Aorten unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

F. Kehlkopf.

45. Drei normale Kehlköpfe unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

46. Zwei normale Kehlköpfe unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

G. Leber.

47. Eine normale Leber unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

48. Eine normale Leber unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: fragliche Reaktion.

49. Eine Stauungsleber unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: gute Reaktion.

50. Normale Leber einer 27jährigen Frau, Todesursache unbekannt; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: starke Reaktion.

51. Normale Leber einer 50jährigen Frau, Tod an Aortenaneurysma; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

52. Zwei normale Lebern aus dem pathologischen Institut: a) 18jähriges Mädchen, Tod an Typhus; b) 79jähriger Mann, Tod an Pyelonephritis. — Lithium: sehr starke Reaktion.

53. Die normale Leber einer 27jährigen Frau, Tod an Magenkrebs; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: sehr schwache Reaktion.

54. Die normale Leber eines 46jährigen Mannes, Tod an Meningitis; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

55. Die normale Leber eines 62jährigen Mannes, Tod an Schädelfraktur; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

56. Drei normale Lebern aus dem pathologischen Institut: a) 7jähriges Mädchen, Tod an Croup; b) 37jährige Frau, Tod an jauchiger Peritonitis; c) 45jähriger Mann, Tod durch Pufferquetschung. — Lithium: starke Reaktion.

H. Magen.

57. Zwei Magen ohne Veränderung, Herkunft unbekannt; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

58. Magen und Duodenum einer 27jährigen Frau ohne Veränderung, Todesursache unbekannt; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

59. Normaler Magen einer 50jährigen Frau, Tod an Aortenaneurysma; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

60. Normaler Magen eines 46jährigen Mannes, Tod an Meningitis; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: sehr schwache Reaktion.

61. Magen mit etwas anliegendem Fettgewebe, normal, von einem 45jährigen Manne, Tod durch Pufferquetschung; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

62. Drei normale Magen aus dem pathologischen Institut: a) 7jähriges Mädchen, Tod an Croup; b) 37jährige Frau, Tod an Peritonitis; c) 62jähriger Mann, Tod durch Schädelfraktur. — Lithium: gute Reaktion.

J. Darm.

63. Normales Rektum einer 27jährigen Frau, Todesursache unbekannt; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: schwache Reaktion.

64. Der ganze Dünndarm eines 18jährigen Mädchens, Tod an Typhus; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: sehr starke Reaktion.

K. Nieren.

65. Zwei normale Nieren unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: schwache Reaktion.

66. Zwei normale Nieren unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: schwache Reaktion.

67. Eine normale Niere unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

68. Zwei normale Nieren unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: schwache Reaktion.

69. Zwei sehr blutreiche Nieren einer 27jährigen Frau, Todesursache unbekannt; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: sehr starke Reaktion.

70. Zwei normale Nieren einer 50jährigen Frau, Tod an Aortenaneurysma; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: zweifelhafte Reaktion.

71. Sechs Nieren aus dem pathologischen Institut: a) zwei Nieren unbekannter Herkunft, normal; b) 18jähriges Mädchen, Tod an Typhus, normal; c) 79jähriger Mann, Tod an Pyelonephritis. — Lithium: sehr starke Reaktion.

72. Zwei normale Nieren einer 27jährigen Frau, Tod an Magenkrebs; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: schwache Reaktion.

73. Zwei normale Nieren eines 46jährigen Mannes, Tod an Meningitis; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: schwache Reaktion.

74. Zwei normale Nieren eines 45jährigen Mannes, Tod durch Pufferquetschung; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: schwache Reaktion.

75. Zwei normale Nieren einer 37jährigen Frau, Tod an jauchiger Peritonitis; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: eben bemerkbare Reaktion.

76. Vier normale Nieren aus dem pathologischen Institut: a) 7jähriges Mädchen, Tod an Croup; b) 62jähriger Mann, Tod durch Schädelfraktur. — Lithium: schwache Reaktion.

L. Harnblase.

77. Eine Harnblase unbekannter Herkunft, dieselbe hatte eine frische Catgutnaht; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

78. Die normale Harnblase einer 27jährigen Frau, Todesursache nicht bekannt; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

79. Drei Harnblasen aus dem pathologischen Institut: a) 18jähriges Mädchen, Tod an Typhus; b) 27jährige Frau, Tod an Magenkrebs; c) 79jähriger Mann, Tod an Pyelonephritis; a und b normal, c entzündet. — Lithium: starke Reaktion.

80. Harnblase mit Prostata und etwas Fettgewebe von einem 45jährigen Mann, Tod durch Pufferquetschung; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: gute Reaktion.

81. Zwei normale Harnblasen aus dem pathologischen Institut: a) 7jähriges Mädchen, Tod an Croup; b) 62jähriger Mann, Tod an Schädelfraktur. — Lithium: sehr schwache Reaktion.

M. Skelettmuskulatur.

82. Die Muskeln ohne Sehnen von einem linken halben Oberarm, Unterarm und Hand; dasselbe Individuum wie Nr. 1. — Lithium: sehr schwache Reaktion.

N. Zunge.

83. Zwei normale Zungen unbekannter Herkunft, nur Muskulatur; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: schwache Reaktion.

84. Zwei normale Zungen unbekannter Herkunft, nur Muskulatur; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

85. Eine normale Zunge unbekannter Herkunft, nur Muskulatur; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

O. Gehirn.

86. Das Gehirn eines 46jährigen Mannes, Tod an Meningitis; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: sehr zweifelhafte Reaktion.

P. Rückenmark.

87. Zwei Medullae spinales ohne Veränderungen aus dem pathologischen Institut: a) 27jährige Frau, Todesursache nicht bekannt; b) 50jährige Frau, Tod an Aortenaneurysma. — Lithium: sehr schwache, fragliche Reaktion.

Q. Testikel.

88. Fünf Hoden aus dem pathologischen Institut: a) zwei Hoden unbekannter Herkunft, normal; b) zwei normale Hoden von einem 62jährigen Mann, Tod durch Schädelfraktur; c) ein normaler Hoden von einem 46jährigen Mann, Tod an Meningitis. — Lithium: nicht nachweisbar.

R. Uterus und Vagina.

89. Drei Uteri und Vaginae ohne Veränderungen, aus dem pathologischen Institut: a) 27jährige Frau, Todesursache unbekannt; b) 27jährige Frau, Tod an Magenkrebs; c) 18jähriges Mädchen, Tod an Typhus. — Lithium: sehr schwache Reaktion.

S. Ovarien.

90. Drei Paar Ovarien ohne Veränderungen, aus dem pathologischen Institut; dieselben Individuen wie bei Nr. 89. — Lithium: nicht nachweisbar.

T. Milz.

91. Zwei Milzen unbekannter Herkunft, normal; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

92. Eine Milz mit frischer Hyperplasie, unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

93. Eine normale Milz unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

94. Eine normale Milz unbekannter Herkunft, aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

95. Die Milz einer 27 jährigen Frau, Todesursache unbekannt, subakute Hyperplasie; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: zweifelhafte Reaktion.

96. Die normale Milz einer 50 jährigen Frau, Tod an Aortenaneurysma; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

97. Zwei Milzen aus dem pathologischen Institut: a) Herkunft unbekannt, normal; b) 18 jähriges Mädchen, Tod an Typhus, hyperplastisch. — Lithium: sehr starke Reaktion.

98. Zwei normale Milzen aus dem pathologischen Institut: a) 46 jähriger Mann, Tod an Meningitis; b) 27 jährige Frau, Tod an eitriger Peritonitis. — Lithium: sehr schwache Reaktion.

99. Die normale Milz einer 37 jährigen Frau, Tod an jauchiger Peritonitis; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: nicht nachweisbar.

100. Drei normale Milzen aus dem pathologischen Institut: a) 7 jähriges Mädchen, Tod an Croup; b) 45 jähriger Mann, Tod an Pufferquetschung; c) 62 jähriger Mann, Tod durch Schädelfraktur. — Lithium: sehr starke Reaktion.

U. Lymphdrüsen.

101. Lymphdrüsen aus dem Bindegewebe um die Aorta und Trachea von von einer 50 jährigen Frau, Tod an Aortenaneurysma; aus dem pathologischen Institut. — Lithium: gute Reaktion.

V. Haut.

102. Haut mit sehr dickem subkutanen Fettgewebe von einer linken Hand, Unterarm und halbem Oberarm; dasselbe Individuum wie bei Nr. 1. — Lithium: gute Reaktion.

Im Anschluss an diese Ergebnisse will ich hier gleich noch drei Untersuchungen beifügen, von denen die eine den Zweck hatte festzustellen, ob bei einem gesunden und normal ernährten Individuum das Lithium im Harn nachweisbar sei. Ich habe zu diesem Zweck meinen eigenen Harn gesammelt, bis ein Quantum von zehn Litern beisammen war. Der Harn wurde eingedampft, der Rückstand verascht und in bekannter Weise weiter verarbeitet. Die zweite Untersuchung bezweckte den Nachweis von Lithium in der Galle. Ich verwandte dazu Galle von anderweitig verarbeiteten Lebern, die ich aus dem pathologischen Institut erhalten hatte, und welche keine Veränderungen aufwiesen. Die dritte Analyse ist das Ergebnis der Untersuchung von Ascitesflüssigkeit, welche von einer an Tuberkulose zugrunde gegangenen weiblichen Person herrührte. Die klare Flüssigkeit war in einer Platinschale eingedampft und in derselben auch verascht worden.

W. Galle.

103. Galle aus drei Gallenblasen normaler Lebern unbekannter Herkunft; aus dem pathologischen Institut, ca. 100 ccm. — Lithium: sehr starke Reaktion.

X. Harn.

104. Mein eigener, normaler Harn, im ganzen 10000 ccm. — Lithium: gute Reaktion.

Dieser Befund deckt sich mit einer älteren Angabe. Sie findet sich referiert im „Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie" 1880, S. 144. Schiaparelli und Peroni ist es danach auch gelungen, Lithium im Harn nachzuweisen.

Y. Ascites.

105. 1375 ccm Ascitesflüssigkeit von einem 12jährigen Mädchen; Tuberkulose. — Lithium: sehr starke Reaktion.

Wie sich aus den hier mitgeteilten 105 Untersuchungen ergibt, ist das Lithium in den verschiedenen Organen und Geweben nachweisbar. Es würde sich vielleicht auch da auffinden lassen, wo ich es nicht habe nachweisen können, da, wie aus den Analysen ersichtlich, sehr oft das Lithium nur dann sicher zu konstatieren war, wenn ich mehrere Organe derselben Art gemeinschaftlich auf einmal verarbeitete; es stand mir aber das zu untersuchende Material nicht in allen Fällen in für diesen Zweck ausreichenden Quantitäten zur Verfügung. Besonders und in hohem Grade auffallend ist die Erscheinung, dass gerade die Lungen konstant eine sehr deutliche Lithiumreaktion lieferten. Ich habe des Vergleiches wegen einmal auch die Lunge eines Rindes und dann auch die eines Kalbes auf Lithium hin untersucht, und auch da das Element mit aller Deutlichkeit nachweisen können.

Die Frage, woher der starke Lithiumgehalt in der Lunge stammte, konnte möglicherweise eine zwiefache Antwort erhalten. Entweder das Lithium bildete einen integrierenden Bestandteil des Lungengewebes, oder aber es handelte sich um eine Retentionserscheinung. Es konnte durch das Einatmen von Staub u. dgl. Lithium in die Lunge geraten und dort liegen geblieben sein.

Ich will zunächst mitteilen, wie ich mir über den letztgenannten Punkt Klarheit zu verschaffen gesucht habe. Es galt, die Frage zu lösen, ob in dem in der Atmosphäre befindlichen Staub Lithium in einiger Menge vorhanden ist. Zu dem Ende wurde ein geräumiger Blechzylinder, der oben offen und unten wie ein Trichter mit kurzem Ansatzrohr konstruiert war, auf dem Hof des Institutes aufgestellt. Ein zweiter ebenso beschaffener Zylinder wurde auf dem Dache des

Institutes aufgestellt. Die am Boden der Zylinder befindliche Öffnung wurde mit einem Wattebausch verstopft. Die beiden Gefässe haben dann offen drei Monate lang an ihrem Platze gestanden. Nach Ablauf dieser Zeit wurde der in ihnen zwischenzeitlich angesammelte Staub und Schmutz nach Entfernung der Wattebäusche aus jedem Zylinder für sich mit destilliertem Wasser in einen Kolben gespült. Dann wurde der Inhalt der Kolben mit lithiumfreier Salzsäure angesäuert, gekocht, abfiltriert und die Filtrate auf Lithium geprüft. Aus dem Schmutze von jedem Zylinder erhielt ich sehr deutliche Lithiumreaktion. Damit erscheint die Annahme wohl berechtigt, dass das Lithium in der Lunge von inhalierten Staubpartikeln herrühren kann. Es wird sich weiterhin aber ergeben, dass diese Herkunft des Lithiums in der Lunge nicht die einzige ist.

Ich habe weiter versucht herauszubekommen, ob das Lithium vielleicht irgend einem Gewebe besonders eigentümlich angehört. Es konnte sich ja für das Lithium um ähnliche Verhältnisse handeln, wie dieselben für das Eisen, den Kalk, die Phosphorsäure und Kieselsäure bekannt sind. Es erschien mir im Verlauf meiner Arbeit einige Zeit so, als ob das Bindegewebe oder aber das elastische Gewebe besonders reich an Lithium sei. Ich habe denn auch einen Versuch angestellt, von dem ich Aufklärung in dieser Hinsicht erwartete. Mir war die Möglichkeit der Herkunft des Lithiums in der Lunge durch Staubinhalation damals noch nicht bekannt.

Ich versuchte durch tagelang fortgesetztes Kochen zweier mit der Fleischmaschine zerkleinerter menschlicher Lungen das leimgebende Bindegewebe möglichst von den elastischen Fasern zu trennen. Die durch das Kochen erhaltene Brühe wurde abfiltriert, eingedampft und der Rückstand auf Lithium weiter verarbeitet. Dasselbe geschah mit den durch das Kochen ungelöst gebliebenen Gewebsresten. Das Resultat dieser Untersuchung war das, dass sowohl das durch das Kochen Gelöste wie das Ungelöste gleich deutliche Lithiumreaktion ergaben. Es ist mithin dieser Versuch für die Beantwortung der Frage, die ich mir gestellt hatte, ergebnislos verlaufen.

Ein anderer Weg, den ich einschlug, um zu erfahren, ob vielleicht doch das elastische Gewebe besonders viel Lithium besässe, führte gleichfalls zu einem negativen Resultat. Man wird sich erinnern, dass ich in den Kehlköpfen in keinem Falle und in den Aorten nicht regelmässig das Lithium nachweisen konnte.

2. Organe Neugeborener und unausgetragener Föten.

Die bisher erreichten Ergebnisse machten es wünschenswert nachzusehen, ob auch bei solchen Individuen, bei denen das Hineingelangen von Lithium in den Organismus durch die aufgenommene Nahrung sowohl als auch durch das Einatmen von Staub ausgeschlossen war, das Element in den Geweben sich finden würde. Ich wurde durch die hiesige gynäkologische Klinik in die Möglichkeit versetzt, Organe von Neugeborenen und Föten auf die Anwesenheit von Lithium untersuchen zu können.

Da zu erwarten stand, dass die einzelnen Organe eines Neugeborenen an und für sich zu wenig Material liefern würden, habe ich auch hier wiederholt gleiche Körperteile von mehreren Individuen gemeinschaftlich verarbeitet. Das Resultat dieser Untersuchungsreihe bringen die jetzt folgenden Analysen.

A. Knochen.

106. Die Diaphysen der Extremitätenknochen eines ausgetragenen männlichen Neugeborenen; aus der Frauenklinik. — Lithium: gerade noch sichtbare Reaktion.

107. Epiphysen derselben Knochen wie bei Nr. 106, dazu Hand- und Fussknochen. — Lithium: starke Reaktion.

108. Die Epiphysen der Extremitätenknochen von zwei ausgetragenen weiblichen Neugeborenen; aus der Frauenklinik. — Lithium: gute Reaktion.

109. Die Epiphysen der Extremitätenknochen zweier männlicher ausgetragener Neugeborener; aus der Frauenklinik. — Lithium: starke Reaktion.

110. Die Diaphysen derselben Knochen wie bei Nr. 108. — Lithium: nicht nachweisbar.

111. Die Diaphysen derselben Knochen wie bei Nr. 109. — Lithium: nicht nachweisbar.

B. Lunge.

112. Acht Lungenflügel von je zwei männlichen und zwei weiblichen ausgetragenen Neugeborenen; aus der Frauenklinik. — Lithium: sehr schwache Reaktion.

C. Herz.

113. Vier Herzen derselben Individuen wie bei Nr. 112. — Lithium: starke Reaktion.

D. Leber.

114. Vier Lebern derselben Individuen wie bei Nr. 112. — Lithium: schwache Reaktion.

E. Nieren.

115. Acht Nieren derselben Individuen wie bei Nr. 112. — Lithium: gute Reaktion.

F. Skelettmuskulatur.

116. Die Muskulatur der Extremitäten und die grösseren Muskeln des Rumpfes, desselben Individuums wie bei Nr. 106. — Lithium: sehr schwache Reaktion.

117. Die Muskulatur der Extremitäten und des Rumpfes derselben Individuen wie bei Nr. 108. — Lithium: nicht nachweisbar.

118. Die Muskulatur der Extremitäten und des Rumpfes derselben Individuen wie bei Nr. 109. — Lithium: eben bemerkbare Reaktion.

G. Milz.

119. Vier Milzen von denselben Individuen wie bei Nr. 112. — Lithium: sehr schwache Reaktion.

H. Haut.

120. Die Haut mit dem subkutanen Fettgewebe eines nicht ganz ausgetragenen Kindes, neunter Monat; aus der Frauenklinik. — Lithium: gute Reaktion.

121. Die Haut mit dem subkutanen Fettgewebe, ohne die des Halses und Kopfes, von denselben Individuen wie bei Nr. 108. — Lithium: schwache Reaktion.

122. Die Haut mit dem subkutanen Fettgewebe, ohne die des Halses und Kopfes, von denselben Individuen wie bei Nr. 109. — Lithium: sehr schwache Reaktion.

J. Fötus.

123. Ein ganzer Fötus aus dem sechsten Monat ohne Eingeweide; aus der Frauenklinik. — Lithium: schwache Reaktion.

Bei den beiden folgenden Untersuchungen handelte es sich um Föten von etwa 20 cm Länge, die also aus dem vierten bis fünften Schwangerschaftsmonat stammten. Ich erhielt das Material in Formalin eingelegt. Um es hiervon zu reinigen, habe ich es fünf Tage lang mit verdünnter, lithiumfreier Salzsäure ausgewaschen; die verdünnte Säure wurde dreimal erneuert.

K. Extremitäten.

124. Fünfzehn untere und elf obere Extremitäten, herstammend von Föten aus dem vierten bis fünften Schwangerschaftsmonat; aus der Frauenklinik. — Lithium: starke Reaktion.

L. Ganze Föten.

125. Drei ganze Föten aus dem vierten bis fünften Schwangerschaftsmonat; aus der Frauenklinik. — Lithium: starke Reaktion.

Es zeigen die eben aufgeführten Analysen uns mit aller Deutlichkeit, dass schon in einer Lebensepoche das Lithium in den menschlichen Organen sich vorfindet, wo dieselben ausschliesslich vom Kreislauf der Mutter aus ernährt werden.

Die Regelmässigkeit des Vorkommens des Lithiums selbst in der fötalen Entwicklungsperiode des Menschen lässt darauf schliessen, dass für das organische Leben das Lithium doch wohl eine bestimmte Bedeutung besitzen muss. Ich glaube nicht, dass wir uns lediglich mit dem Erklärungsgrunde begnügen dürfen, das Lithium sei weiter nichts wie zufällig durch Nahrung und Staubinhalation in den Körper gelangtes Material, das in den Geweben zwecklos umherliegend, schliesslich mit dem Harn wieder ausgeschieden wird.

Es ist mir allerdings nicht gelungen, die Frage nach der Topographie des Lithiums im menschlichen Körper aufzuklären. Wir sind damit zunächst noch ganz ausserhalb der Möglichkeit gesetzt, über die Beteiligung des Lithiums bei der Lebenstätigkeit irgend eines bestimmten Organes oder Gewebes uns irgend eine Ansicht bilden zu können. Dass bei bestimmten Stoffwechselkrankheiten, insbesondere bei der Gicht, das Lithium eine ganz ausgesprochene Wirkungsfähigkeit besitzt, ist der Therapie hinlänglich bekannt.

G. Gorsky hat im Jahre 1888 in einer in St. Petersburg erschienenen Inaugural-Dissertation eine umfängliche Untersuchung „Über den Einfluss des Lithiumkarbonats auf den Stickstoffstoffwechsel bei Gesunden“ und deren Ergebnisse mitgeteilt, welche dafür sprechen, dass das Lithium gewisse Oxydationsvorgänge im menschlichen Organismus deutlich fördert. Es scheint sich wesentlich um eine intensivere Oxydation der Harnsäure zu handeln.

Das Endergebnis meiner Arbeit kann ich dahin zusammenfassen, dass ich sage:

Das Lithium ist, die Verarbeitung hinlänglicher Mengen von Material vorausgesetzt, ein regelmässig vorkommender Bestandteil menschlicher Organe.

Es findet sich schon in einem Entwicklungsstadium vor, wo die Ernährung einzig und allein durch das Blut der Mutter unterhalten wird.

Ungelöst bleibt zunächst noch die Frage nach dem topographischen Verhalten des Lithiums. Es ist mir wenigstens nicht gelungen, den Nachweis erbringen zu können, dass, abgesehen von der Lunge, irgend ein Organ oder Gewebe sich durch einen auffallend hohen Lithiumgehalt vor den anderen hervorhebt. Für das verhältnismässig reichliche Vorkommen des Lithiums in der Lunge, auch in der der Neugeborenen, bei welchen das Moment der Staubinhalation in Weg-

fall kommt, lässt sich eine genügende Erklärung zurzeit noch nicht geben.

Das Lithium hat hinsichtlich seines regelmässigen Vorkommens in den Organen und in Rücksicht auf die schwierige Deutung des Grundes dieses Vorkommens eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Magnesium.

Ob das Fehlen der Lithiumreaktion in Organen, die sie ein andermal wieder sehr deutlich liefern, wie z. B. die Leber, eine pathologische Bedeutung besitzt, ist heute noch nicht zu entscheiden.

Es sei mir an dieser Stelle gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, dem Herrn Geheimen Medizinalrat Professor Dr. Schulz, für die vielseitige wohlwollende Unterstützung bei der Ausführung dieser Arbeit meinen ehrerbietigsten Dank auszusprechen.

Herrn Geheimrat Professor Dr. Grawitz, sowie Herrn Professor Dr. Martin für die gütige Überweisung von Versuchsmaterial meinen ergebensten Dank!

(Aus Hull Physiological Laboratory, University of Chicago.)

Die Ganglienzellen des Bulbus arteriosus und der Kammerspitze beim Salamander (Necturus maculatus)[1].

Von

A. J. Carlson.

(Mit 3 Textfiguren.)

1. Geschichtliches.

In der Fachliteratur findet man zahlreiche sich widersprechende Angaben über die Vertheilung der Nervenbestandtheile im Wirbelthierherzen. Um nun die allerneusten Mittheilungen darüber zu berücksichtigen, so ist zu bemerken, dass Jacques sehr reichlich Ganglienzellen auf der Aussenfläche des Myocards im Bereich der beiden basalen Drittel des Säugethier-Herzens gefunden hat[2]; Berkley beschreibt Ganglienzellen, die in der äussersten Spitze des Säugethier-Herzens vorkommen sollen[3]; wogegen Schwarz die Behauptung, dass bei Ratten Ganglienzellen auf die Uebergangszone zwischen Vorhof und Ventrikel sich beschränken, aufstellt[4]; ihm zufolge befinden sich selbst im basalen Theil des Ventrikels keine Ganglienzellen. Wohl aber beschreibt er eine Art kleiner Zellen, die überall im Myocard des Ventrikels den Nerven entlang sich befinden; da sie aber nicht mit kernhaltigen Kapseln versehen und bedeutend kleiner als die kernhaltigen Ganglienzellen des Vorhofes sind, betrachtet er sie nicht als Ganglienzellen. Diese Zellen sind von Schwarz als „granulirte Herzzellen“ bezeichnet worden. Wahrscheinlich ist es, dass es solche Zellen sind, die von Jacques in den beiden basalen

1) Uebersetzt von Dr. Alber Woelfel.

2) Jacques, Journal de l'Anatomie 1894.

3) Berkley, Anatomischer Anzeiger Bd. 9 S. 33. 1894.

4) Schwarz, Archiv f. mikroskop. Anatomie Bd. 53 S. 63. 1899.

Dritteln des Ventrikels gefunden und als Ganglienzellen beschrieben worden sind. Berkley stützt seine Meinung auf Befunde, die er mittels Silberbichromat-Färbung erhoben hat.

Nach der herrschenden Ansicht fehlen Ganglienzellen gänzlich in der Spitzenhälfte des Ventrikels von Frosch und Schildkröten-Kammern. Neuerdings aber beschreibt Bethe Nervenzellen, die er in der äussersten Spitze von Frosch-Ventrikeln mit Hülfe der Methylenblau-Färbung nachgewiesen haben will. Diese Zellen, mit feinen Fortsätzen versehen, bilden einen Nervenplexus über das ganze Myocard; der einzige Unterschied mit Bezug auf Vorhandensein von Nervenzellen zwischen Basis und Spitzentheil des Ventrikels ist der, dass erstere Gegend reichlicher damit versehen ist. Bethe hat sich die grösste Mühe gegeben, um sich davon zu überzeugen, dass die Gebilde, die auf Färbung mit Methylenblau deutlich zu erkennen sind, nicht elastische Fasern oder Bindegewebe waren [1]).

Dem Bulbus arteriosus beim Frosch ist in der Controverse über den Ursprung des Herzschlags seit Engelmann's Beobachtung, dass selbst nach Abtrennung vom übrigen Herzen der Bulbus sich rhythmisch contrahiren kann, grosse Aufmerksamkeit geschenkt worden [2]). Von Löwit waren Ganglienzellen im Bulbus, und zwar im oberen Drittel besonders reichlich, schon früher beschrieben worden [3]). Diese Nervenansammlung wurde von ihm als Bulbus-Ganglien bezeichnet. Engelmann fand zwar Nervenzellen im Bulbus, betrachtete sie aber als Fortsetzungen vom Sinus und vom Vorhof und nicht als eigentliche Bestandtheile des Bulbus. Nach seiner Ansicht bestehen keine solchen Nervenzellen und ein Bulbus-Ganglion, wie Löwit angibt; daher folgt der Schluss, dass der Bulbus arteriosus beim Frosch einen Theil des Kreislaufsystems darstellt, der ohne Mitwirkung von Nervenzellen sich rhythmisch zu bewegen im Stande ist.

Diese Erklärung — trotzdem Tumänzew und Dogiel und später nochmals Dogiel Löwit's Beobachtungen bestätigt haben [4]) — ist immer noch in vielen Lehrbüchern zu finden. Diesen Forschern zufolge befinden sich Ganglienzellen über die ganze Oberfläche des Bulbus, und der selbstständige Rhythmus des Bulbus wird vom Vagus

1) Bethe, Anatomie und Physiologie des Nervensystems S. 93. 1903.

2) Engelmann, dieses Archiv Bd. 29 S. 425. 1882.

3) Löwit, dieses Archiv Bd. 25 S. 399. 1881.

4) Tumänzew und Dogiel, Archiv f. mikroskop. Anatomie Bd. 36 S. 493. 1890. — Dogiel, Centralblatt f. medicin. Wissenschaften S. 225. 1894.

in derselben Weise wie der Rhythmus des übrigen Herzens gehemmt. Die Angabe, dass der Bulbus keine Ganglienzellen und spärliche Nervenfasern besitzt, ist ebenfalls aus der Abhandlung über die Anatomie des Frosches von Echer-Wiederschein zu vernehmen[1]).

Die vorwiegende Annahme von Engelmann's negativen Ergebnissen gegen die positiven von Löwit, Tumänzew und Dogiel hat sich jedenfalls der grossen Autorität, die der Name Engelmann auf dem Gebiet der Physiologie des Herzens trägt, zu verdanken.

2. Der Rhythmus des Conus arteriosus.

Fig. 1 stellt eine schematische Zeichnung des Ventrikels und des Conus arteriosus vom Necturus, von der ventralen Seite her betrachtet, dar. Der Conus arteriosus bei diesem Thier unterscheidet sich von demselben beim Frosch dadurch, dass seine Muskulatur sich durchaus von derjenigen des Ventrikels fortsetzt, nur ist die Conuswand weitaus dünner als die Ventrikelwand, und die Muskelzellen sind meistens in querer Richtung angelegt. Der Basaltheil des Conus ist eigentlich eine Verlängerung des Basaltheils vom Ventrikel. Der Conus bei diesem Thier zeichnet sich weiter aus durch das Vorhandensein von zwei Anordnungen von Semilunarklappen, wovon eine neben der Vereinigungsstelle vom Conus und Ventrikel (S_1), die andere da, wo der Conus in die richtige Aorta übergeht (S_2), sich befindet. Im Niveau des letzten Ventils schwächt sich die Muskulatur des Conus sehr rasch ab, das Bindegewebe nimmt zu, und der Conus nimmt die typische Struktur der Aorta an. Der Conus arteriosus ist durchaus vom Sinus und vom Vorhof unabhängig. Das übrige Herz hat keine Eigenthümlichkeiten aufzuweisen. Der venöse Sinus ist auf der dorsalen

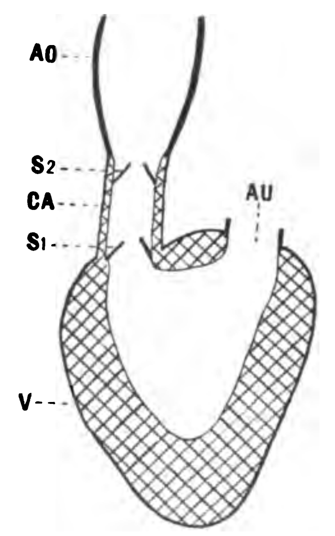


Fig. 1. Kammer, Conus arteriosus und Aorta von Necturus, von der ventralen Seite. *AO* Aorta, *AU* Vorhof-Atriumöffnung, *CA* Conus arteriosus, S_1, S_2 Semilunarklappen, *V* Ventrikel.

1) Anatomie des Frosches Bd. 2 S. 27. 1900.

Seite eine kleine Strecke mit dem Ventrikel verwachsen, diese Verbindung aber ist eine secundäre, durch Bindegewebe vermittelte; der Rhythmus des Sinus kann sich desswegen nicht durch diesen Anschluss festsetzen.

Beim normalen Herz-Rhythmus pulsiert die muskulöse Partie des Conus mit dem übrigen Herzen synchron, und zwar auf folgende Weise: der dem Ventrikel nächst liegende Abschnitt des Conus geräth erst einen erheblichen Zeitraum nach Beginn der Ventrikel-Systole in eine Contraction, die sich rasch den Conus hinauf fortpflanzt, um in der Gegend des oberen Ventils abzulaufen. Es wäre eine Abweichung von meiner Aufgabe, die Zeit, die zwischen Beginn der Contraction des Ventrikels und derjenigen des Conus vergeht, genau zu messen. Augenscheinlich ist sie etwas grösser als die Periode zwischen Vorhof- und Ventrikel-Contraction, denn die Contraction des Conus scheint erst, wenn der Höhepunkt der Ventrikel-Systole erreicht worden ist, zu entstehen. Hier finden wir also eine Verlängerung der basalen Abschnitte vom Ventrikel, die unter normalen Umständen unveränderlich einen beträchtlichen Zeitraum nach Contraction des übrigen Ventrikels zu schlagen beginnt. Das Muskel- und Nervengewebe setzt sich vom Ventrikel zum Conus fest; nach der myogenen Theorie der Leitung im Herzen aber sind wir zur Annahme, dass diese Verzögerung durch den embryonalen Charakter des Muskelgewebes in der Gegend der Uebergangsstelle bedingt ist, gezwungen. Ich bin diesem embryonalen Muskelgewebe nicht nachgegangen, denn ich bin überzeugt, dass so etwas nicht besteht, oder wenn es etwa eine Wirklichkeit ist, dass es keine Rolle bei der Coordination der Ventrikel- und Conusbewegung spielt. Jedenfalls haben die allersorgfältigsten histologischen und mikrochemischen Untersuchungen danach bei Amphibien und Säugethieren bis jetzt nicht den geringsten Unterschied zwischen dieser Gegend und dem übrigen Herzen aufgedeckt. Welchem Zweck aber dienen im Kreislaufmechanismus des Necturus die Contraction des Conus und das Vorhandensein eines zweiten Ventils? Der Conus ist zu dünnwandig, um als Hülfsatrium zu fungieren; seine Contraction kann zur Beförderung des Blutes durch die Kiemen wenig beitragen. Wahrscheinlich gleicht der Widerstand der Conus-Wand die elastische Kraft der Aorta während seiner durch Entleerung des Conus bewirkten Ausdehnung nicht aus. Daher wäre beim Fehlen des zweiten Ventils im Conus die Contraction des letzteren vergebens. Aber mit zwei Ventilen versehen, leiht die Contraction des

Conus den Klappen einen vermehrten Widerstand, indem ihr Volumen kleiner wird und die Ränder der Semilunarklappen fester an einander gepresst werden. Das will mir die einzige Erklärung der Zwecke vom Conus-Rhythmus erscheinen.

Das Experiment Stannius' gelingt auch beim Herzen des Necturus. Abtrennung des Sinus verursacht auf einige Minuten Vorhof- und Ventrikel-Stillstand. Nach Durchschneidung des Herzens im Grenzgebiet zwischen Vorhof und Ventrikel wird der Rhythmus des Ventrikels aufgehoben, nach dieser Laesion aber wird der Conus arteriosus der vorangehende Theil; die Contraction entsteht dort und breitet sich von dort über den ganzen Ventrikel aus. In diesem Fall beginnt die Conus-Contraction, nicht wie sonst dicht an der Basis des Ventrikels, in der Gegend des unteren Ventils, sondern an dem oberen Ventil und schreitet dann gegen den Ventrikel hin fort. Die übliche Verzögerung zwischen Conus- und Ventrikel-Schlag ist auch wahrzunehmen. Bisweilen habe ich diesen umgekehrten Rhythmus 30—60 Minuten dauern gesehen. Dieser Rhythmus ist träger als der normale. Es dauert gewöhnlich 2—3 Minuten nach Durchschneidung des Herzens an der bezeichneten Stelle, bis der umgekehrte Rhythmus anfängt. Bei etlichen Versuchen versagte der Conus, ohne Reizung seinen Rhythmus aufzunehmen. In solchen Fällen aber genügte eine leise Berührung des Conus oder der Aorta, um den Rhythmus auszulösen, der dann einige Secunden bis mehrere Minuten anhielt. Berührung der Aorta oberhalb des oberen Ventils war eben so wirksam, um den Rhythmus hervorzurufen. Hierdurch wird bewiesen, was das für ein Gewebe war, dessen mechanische Reizung eine Folge von Schlägen veranlasst hat; es ist nicht nur in der ventrikularen Fortsetzung oder im eigentlichen Conus, sondern auch neben dem Conus in der Aorta vorhanden. Den Ventrikel, welcher Vorhof und Conus getrennt und im Serum geblieben war, habe ich niemals seine rhythmische Contraction aufnehmen gesehen. Meine darauf gerichteten Beobachtungen waren aber nicht zahlreich genug, um die Aussage zu gestatten, dass so etwas niemals vorkommen dürfte. Offenbar aber besitzt der Conus eine grössere Rhythmus-Fähigkeit als der Ventrikel, denn vom Ventrikel getrennt schlägt er, und im Zusammenhang mit dem Ventrikel wird er der Vorangehende beim conus-ventrikularen Rhythmus. Nach der myogenen Theorie hat sich die ventrikulare Muskulatur im höheren Grad vom embryonalen Zustand differenzirt als diejenige des Conus und infolgedessen auch

weniger Rhythmus-Fähigkeit bewahrt; jedoch führen solche Schlussfolgerungen zu weit, denn bei Stichhaltigkeit desselben müsste die noch minder entwickelte und differenzirte Muskulatur der Kleinarterien und Venen noch mehr zum Rhythmus befähigt sein, was, abgesehen von seltenen Beispielen (Venen im Fledermaus-Flügel und unter besonderen Zuständen die Venen im Kaninchen-Ohr) eben nicht der Fall ist. Wir wollen jetzt an die Frage ob oder nicht, wie Engelmann mit Bezug auf Frosch-Herzen behauptet, Ganglienzellen dem Conus arteriosus mangeln, herantreten.

3. Ganglienzellen im Conus arteriosus und im Apex des Ventrikels.

Die hochgradige Rhythmus-Fähigkeit, die dem Conus eigen ist, brachte mich darauf, den Conus histologisch auf Nervengewebe zu untersuchen. Wie soll man Nervenzellen von anderen Geweben, z. B. von gewissen Formen Bindegewebszellen, im Herzen unterscheiden? Es ist klar, dass die grosse Verwirrung, die auf diesem Gebiet herrscht, davon herrührt, dass die nämlichen Elemente von einem Beobachter als Nervenzellen, vom anderen als Bindegewebszellen angesprochen werden.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass die von Jacques und von Berkley beschriebenen Nervenzellen im Säugethier-Ventrikel die „granulirten Herzzellen“ von Schwarz sind. Warum, wie von seiten Schwarz geschehen ist, das Vorhandensein einer kernhaltigen Hülle um die Zelle das sine qua non für eine Nervenzelle hingestellt worden ist, will mir nicht einleuchten, angesichts der festgestellten Thatsache, dass die Zellen im Centralnervensystem und viele Zellen im peripheren Plexus (z. B. in Auerbach's Plexus) keine solchen Kapseln besitzen. Noch gibt es keine absolut zuverlässige Färbungsmethode, wodurch man Nervenzellen von anderem Gewebe unterscheiden kann. Die Silber-bichromat-Methode bringt sowohl Stützgewebe und Epithel wie auch Nervenzellen zum Vorschein. Die intravitale Methylenblau-Färbung wirkt nicht nur auf Nervengewebe, sondern auch auf die Kerne der rothen Blutkörperchen, auf elastisches Bindegewebe und mitunter auf Blutgefäss- und Herzmuskelzellen. Weder ist der Umstand allein, dass eine Zelle mit Methylenblau sich färben lässt, genügender Beweis von ihrem nervösen Charakter, noch ist die Gestalt der Zelle oder deren Kern

massgebend dafür. Ich möchte eher als entscheidendes Moment beim Herzen die Verbindungen der Zellenfortsätze mit dem Nervenplexus, mit Muskelzellen oder mit sensiblen Endigungen betrachten. Es ist zuzugeben, dass dies Verhältniss sich schwierig feststellen lässt. Nach Untersuchung desselben aber bin ich zum Schluss gelangt, dass Nervenzellen im Conus arteriosus und in der Ventrikel-Spitze des betreffenden Thieres vorhanden sind.

Ich habe die intravitale Methylenblaufärbung angewendet. Einige Cubikcentimeter einer halbprocentigen Lösung wurden in eine Eingeweidenvene injicirt. Nach 60—120 Minuten Einwirkenlassen des Farbstoffs wurde das Herz herausgeschnitten. Der Conus wurde vom Ventrikel getrennt, longitudinal aufgeschnitten und mit der Aussenfläche nach oben auf einem Objectivträger ausgebreitet. Es wurde dann entweder in physiologischer Kochsalzlösung, oder der Farbstoff wurde erst mit pikrinsaurem Ammon fixiert und dann in Glycerin, untersucht. So kann man also die ganze Fläche mikroskopisch durchmustern. Bei solch einem hinreichend dünnen Präparat wird genug Licht durchgelassen, um selbst eine Besichtigung mit $^1/_{12}$ Oel-Immersionsobjektiv zu ermöglichen. Dies Verfahren bringt zahlreiche Nervenfasern am Conus, die vom Ventrikel nach der Aorta verlaufen, zum Vorschein. Bei einigen Präparaten waren die Plexus auf der ventralen Seite des Conus und der Aorta in einem oder zwei besonders grossen Faserbündeln gesammelt. Am Vereinigungspunkt des Conus mit dem Ventrikel bilden diese Nervenfaserbündel einen vollkommenen Ring. Diese Fasern sind meistens nicht markhaltige; dass sie aber nicht elastische Fasern sind, schien mir durch das Auftreten von typischen Varicositäten, die infolge der Farbe-Einwirkung wahrzunehmen sind, erwiesen.

Den Nervenfaserbündeln entlang und zwischen denselben befinden sich zahlreiche, bipolare und multipolare und einige unipolaren Zellen, die, nach ihren Verbindungen zu urtheilen, Nervenzellen sind. Einige Beispiele dieser Zellen sind in Fig. 2 abgezeichnet. Diese Zellen sind neben dem Vereinigungspunkt des Conus mit dem Ventrikel und in einer Gegend auf der Aorta jenseits des oberen Ventils besonders zahlreich. Diese letzterwähnte Gegend ist etwa dieselbe, wo das von Löwit beschriebene Conusganglion beim Frosch-Herzen sich befindet. Die unipolaren Zellen (Fig. 2, *D*) sind nicht zahlreich. Ihre dünnen Fortsätze konnte ich nicht in den Nervenplexus

oder an die Muskelzellen verfolgen. Bei den bi- und multipolaren Zellen waren ihre dünnen Fortsätze vielfach in die Nervenfaser-

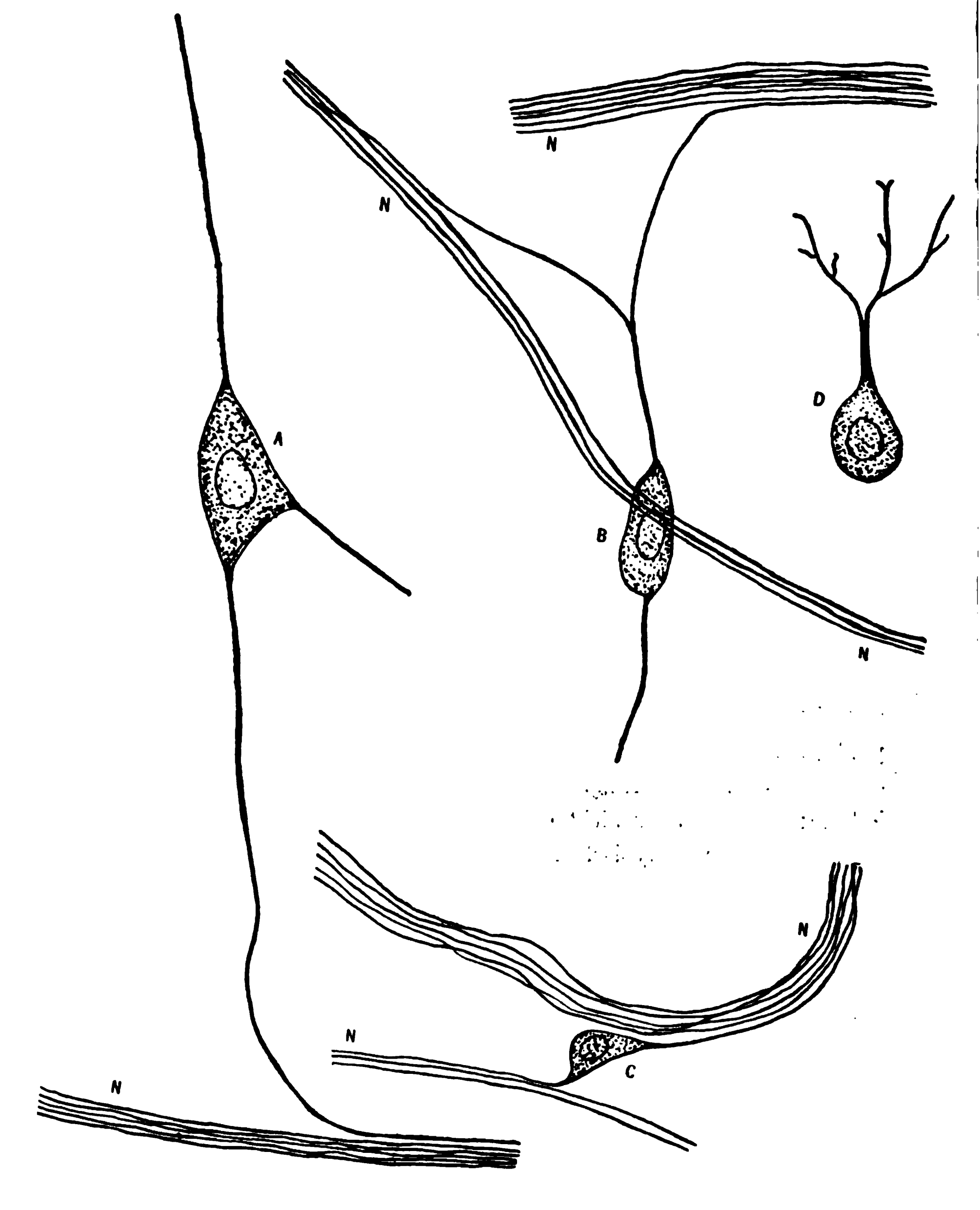


Fig. 2. Ganglienzellen und Nervenfasern aus dem Conus arteriosus bei Necturus. *N* Nervenfasern, *A*, *B*, *C* und *D* Ganglienzellen.

bündel hinein oder denselben entlang zu verfolgen. Drei typische Zellen dieser Art sind in Fig. 2 (*A*, *B*, *C*) dargestellt. Es kann infolgedessen kein Zweifel aufkommen, dass diese Gebilde Nervenzellen sind.

Um aber den Beweis doppelt kräftig zu machen, habe ich diese Präparate vom Conus arteriosus mit ähnlichen vom Sinus venosus, vom Vorhof und vom Ventrikel verglichen. Die Ergebnisse waren durchaus Befunde, die denjenigen von Bethe beim Frosch-Ventrikel entsprachen. Oberflächenpräparate vom Sinus und vom Vorhof sind leicht herzustellen. Oberflächenpräparate vom Ventrikel wurden durch scheibenweise Abtragung vom Ectocardium sammt etwa 1 mm des unterliegenden Muskelgewebes angefertigt. Nach Fixirung mit pikrinsaurem Ammon und Aufstellung dieser Präparate in Glycerin waren sie durchsichtig genug, um das Oel-Immersionsobjectiv zur Untersuchung brauchbar zu machen. Was den Sinus venosus und den Vorhof anbelangt, so waren in deren Präparaten Nervenzellen vom selben Typus, wie die vom Conus arteriosus schon beschriebenen, reichlich vorhanden. Im Ventrikel sind sie spärlicher, wohl aber über das ganze ventriculare Myocard gestreut, ohne Ausschluss der Spitzengegend, vorhanden. Dasselbe Kriterium, das mit Bezug auf die Zellen im Conus arteriosus aufgestellt wurde, erlaubt ebenfalls den Schluss, dass diese Zellen nervösen Charakters sind, zu ziehen, denn sie bilden einen Theil des Nervenplexus, oder ihre Fortsätze sammeln sich zu Nervenfaserbündeln, die über die ganze Ventrikel-Spitze gespannt sind. Zellen vom Typus in Fig. 3 dargestellt, bipolare Zellen in Nervenfasern eingebettet, sind weniger zahlreich in der Spitze, als in der Basis des Ventrikels. Anastomosen der Zellenfortsätze, wie in Fig. 3 (*B*, *D*) dargestellt, kommen häufig vor. Dieser Nervenplexus ist wahrscheinlich ein analoger zu dem, welchen Bethe in der Spitze des Frosch-Ventrikels beschrieben hat. Es muss aber zugestanden werden, dass bei meinen Präparaten vom Conus und von der Ventrikel-Spitze die Mehrzahl der Zellen, vom Typus in Fig. 2 und 3 dargestellt, nicht mit Sicherheit in den Nervenplexus und in die Nervenbündel, selbst unter Zuhülfenahme des Oel-Immersionsobjectivs, hinein verfolgt werden konnten. Ich habe nur typische Fälle, bei welchen solche Verbindungen zu erkennen waren, gezeichnet. Die übrigen Zellen haben aber wahrscheinlich ähnliche Verbindungen. Diese Oberflächenpräparate eignen sich besser zur Untersuchung dieser Verbindungen,

als selbst die Folge-Schnitte — d. h., so weit die Nervenzellen der Oberfläche des Myocards in Betracht kommen.

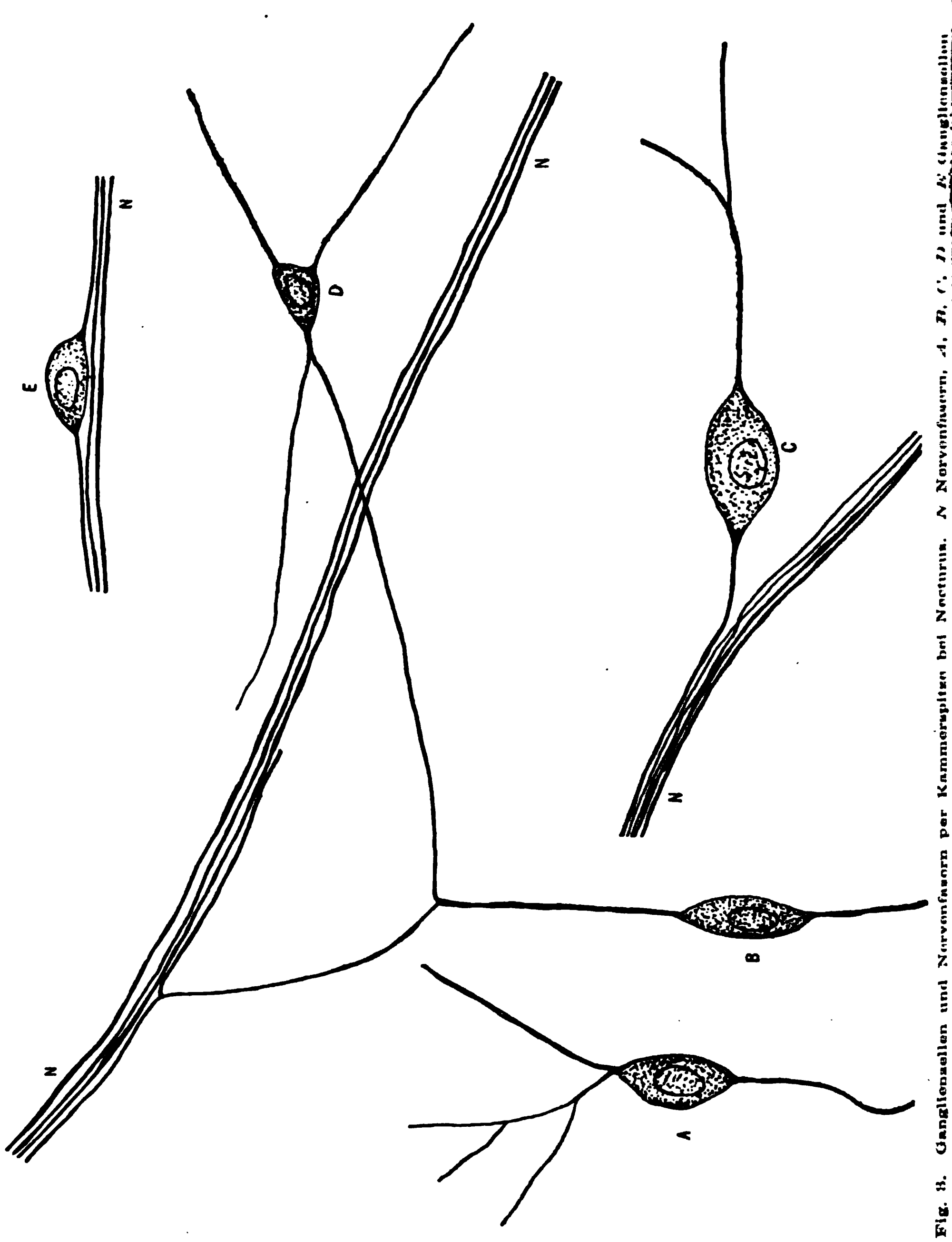


Fig. 8. Ganglienzellen und Nervenfasern per Kammerspitze bei Necturus. *N* Nervenfasern. *A*, *B*, *C*, *D* und *E* Ganglienzellen.

4. Theoretisches.

Die Hauptstützen der myogenen Theorie des Herzschlags sind der Rhythmus des embryonalen Herzens und der vermeintliche Rhythmus von Theilen des erwachsenen Herzens, in welchem Nervenzellen fehlen sollen. So wird von den Anhängern der myogenen Theorie auf den Rhythmus des Conus arteriosus und auf den Rhythmus der Ventrikel-Spitze beim Frosch unter Erhöhung des intracardialen Drucks nach Isolation derselben durch Zerquetschen nach Bernstein's Verfahren als Beleg für ihre Ansicht angewiesen. Die Beobachtungen von Bethe, Dogiel und Löwit, durch welche die Anwesenheit von Nervenzellen in diesen Theilen vom Froschherzen nachgewiesen ist, macht die Beweisführung unzulässig. Um so mehr wird es durch die Resultate meiner Untersuchungen vom Necturus-Herzen, die bis zu einem gewissen Grad Bethe's und Dogiel's Beobachtungen bestätigen, unzutreffend gemacht. Porter's Beobachtung am Säugethier-Ventrikel[1]) wird jedenfalls auf ähnliche Weise erklärt werden können, da die „granulierten Herzzellen“ von Schwarz wirkliche Nervenzellen sind, wie schon von Berkley und von Jacques constatirt worden ist. Ich finde, nachdem der Säugethier-Ventrikel (Hund) von den Vorhöfen getrennt und durch Querschnitte in drei Portionen eingetheilt wird, dass das basale Drittel und das mittlere Drittel, im Serum liegen bleibend, gewöhnlich eine Zeit lang rhythmisch schlagen können; das Spitzendrittel aber schlägt nur auf künstliche Anregung. Abtrennung der Vorhöfe vom Ventrikel hält den ventrikularen Rhythmus nicht an, jedoch bleibt das Mittel-Drittel des Ventrikels zunächst ruhig, um erst nach einigen Minuten den Rhythmus wieder aufzunehmen.

Das Vorhandensein von Ganglienzellen und Nervenfasern in allen Theilen des Herzens und der innige Zusammenhang von Nerven- und Muskelgewebe machen ihre Trennung unmöglich, um ein für allemal die Ursache vom Herzrhythmus zu entscheiden, wie mir das beim Limulus-Herzen gelungen ist[2]). Beim Herzen des Limulus ist der Beweis, dass der Rhythmus neurogenen Ursprungs ist, und dass Leitung und Coordination durch Nervengewebe besorgt werden,

---

1) Porter, Journal of experimental medicine vol. 2 p. 391. 1897.

2) Carlson, American journal of physiology vol. 12 p. 67. 1904; vol. 12 p. 471. 1905; vol. 13 p. 217.

unerschütterlich. Trotz der Wahrscheinlichkeit, dass der Mechanismus des Herzschlags bei Wirbelthieren derselbe wie beim Limulus ist, muss es zugegeben werden, dass der Beweis noch nicht erbracht worden ist.

Der abgetrennte Ventrikel vom Necturus (im Serum geblieben) schlägt, trotz Vorhandensein von vielen Ganglienzellen, nicht rhythmisch; dasselbe scheint auch für Schildkrötenherzen zu gelten [1]. Der abgetrennte Ventrikel von Fischen (Bdellostoma) schlägt langsamer als das unversehrte Herz [2]; ebenso ist es beim Säugethier-Ventrikel. Im Sinne der neurogenen Theorie würden diese Thatsachen darauf hindeuten, dass das innere Nervensystem des Herzens aus einer Reihenfolge von „Nervencentren" besteht. Diese Centren sind den Athmungscentren in der Medulla und im Rückenmark in dem Maasse analog, dass Theile dieses Systems unter normalen Verhältnissen eine hochgradige Automatie besitzen; andere dagegen haben eine geringere oder gar keine, sondern sie werden erst unter dem Einfluss des mehr automatischen Gewebes in Thätigkeit gesetzt. Aber gerade wie die Athmungscentren im cervikalen Rückenmark unabhängig von Erregungen aus dem Centrum in der Medulla, besonders unter asphyktischen Zuständen, eine selbstständige rhythmische Thätigkeit entwickeln, so kann in den weniger rhythmischen Centren im Herzen, sobald sie geänderten Zuständen, die als Reize dienen können, ausgesetzt sind, ein Rhythmus entstehen.

1) Martin, American journal of physiology vol. 11 p. 103. 1904.
2) Carlson, Zeitschrift für allgemeine Physiologie Bd. 4 S. 259. 1904.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Halle a. S.)

Beobachtungen betreffs der Übereinstimmung der Hering-Hillebrand'schen Horopterabweichung und des Kundt'schen Teilungsversuches.

Von

Dr. med. **M. Frank**,
ehem. Assistent von Professor Dr. Braunschweig, Halle,
zur Zeit an der Augenklinik zu Kattowitz.

(Mit 1 Textfigur.)

I. Charakterisierung des Problems.

Bekanntlich hat E. Hering[1]) gefunden, dass bei Einstellung von Loten oder Stäben in eine scheinbare Ebene — also nach dem sogenannten Augenmass bei festgehaltenem Blick — diese im Allgemeinen nicht in eine wirkliche Ebene gebracht werden, sondern in eine Zylinderfläche, welche beim Nahesehen schwach konkav gegen den Beobachter zu gekrümmt ist. Erst in einem gewissen Abstande, der nach der Individualität des Beobachters variiert, geschieht die Anordnung in einer wirklichen Ebene, jenseits dieser Distanz in einer zunehmend konvexen Zylinderfläche. In dem erstbetrachteten Falle des Nahesehens (auf etwa 30 cm Abstand) ist der konkave Zylinder wenigstens bei der Mehrzahl der Beobachter (nicht so bei Berthold und Dastich — nach Helmholtz) deutlich schwächer gekrümmt, als es dem durch den Fixationspunkt und die Knotenpunkte beider Augen gelegten sogenannten „Horopterkreise" (Vieth, Johannes Müller) entsprechen würde. Auch Helmholtz (Physiol. Optik I. A. S. 654 ff., 722, II. A. S. 800 ff., 871) hat sich nachträglich von dieser Abweichung überzeugt, sie jedoch auf eine

1) Beiträge zur Physiologie H. 5 S. 298. Leipzig 1864. — Die Gesetze der binokularen Tiefenwahrnehmung. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1865 S. 79 bis 97, speziell 82 u. S. 152 bis 165, speziell 161. Kap. Raumsinn. Hermann's Handb. der Physiol. Bd. 3 T. 1 S. 401 bis 403. 1879.

Täuschung bezogen, welche infolge einer falschen Schätzung des Konvergenzgrades bezw. der Entfernung und durch den Mangel sichtbarer vertikaler Distanzen eintrete. Im Gegensatze zu dieser Deutung hatte E. Hering die Anordnung von Loten oder Stäben in einer scheinbaren Ebene als eine empirische Bestimmung des Längshoropters aufgefasst, also des geometrischen Ortes derjenigen Aussenpunkte, welche sich auf korrespondierenden Längsreihen in beiden Augen, also ohne sogenannte Querdisparation abbilden. Die Bestimmung nach dieser stereoskopischen Methode geschieht mit einer verhältnismässig grossen Genauigkeit, während die Aufsuchung des Längshoropters auf Grund des Einfachsehens bezw. des Sehens in rein höhendistanten Doppelbildern relativ weite Grenzen ergibt (Doppelbildermethode von Prevost und von Meissner). Die nach dem Vorgange von Hering ermittelte Fläche liegt beiläufig in der Mitte der Grenzen, ausserhalb welcher Doppelbilder wahrzunehmen sind. — Aus der Horopterabweichung zog Hering den Schluss, dass die korrespondierenden, d. h. funktionell an subjektivem Höhen- und Breitenwert gleichwertigen Netzhautelemente in beiden Augen nicht genau kongruent liegen, dass vielmehr der Abstand je eines Elementes auf der temporalen Netzhauthälfte kleiner sei wie der Abstand des entsprechenden Elementes auf der nasalen. Hering's Beobachtungen und Schlussfolgerungen wurden von F. Hillebrand[1]) in eingehenden, messenden Versuchen bestätigt und für die Lehre von der Stabilität der Raumwerte auf der Netzhaut verwertet. Zugunsten von Hering's Identifizierung der geschilderten Stäbeanordnung und des empirischen Längshoropters hat dann A. Tschermak[2]) folgendes Argument beigebracht. Die durch Stäbe oder Nadeln bezeichnete Zylinderfläche, welche dem Beobachter als Ebene erscheint, erwies sich in besonderen messenden Versuchen zugleich als der Ort der höchsten Empfindlichkeit für Tiefenunterschiede. Für jede andere Anordnung, z. B. im sogenannten Vieth-Müller'schen „Horopterkreise", ist dieselbe deutlich geringer. Das oben geschilderte Verhalten kann

---

1) Die Stabilität der Raumwerte auf der Netzhaut. Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 5 S. 1 bis 60. 1893.

2) Beitrag zur Lehre vom Längshoropter. Pflüger's Arch. Bd. 81 S. 328 bis 348, speziell S. 342—347. 1900. Auf diese Arbeit wie auf die Abhandlung: Über Tiefenwahrnehmung auf Grund von Doppelbildern (mit P. Hoefer), Pflüger's Arch. Bd. 98 S. 299 bis 321. 1903, sei auch bezüglich der Definition des Horopters, der Korrespondenz und der Stereoskopie verwiesen.

daher mit Fug und Recht als Hering-Hillebrand'sche Horopterabweichung bezeichnet werden.

Bereits Hering, ebenso Hillebrand haben als Stütze ihrer Schlussfolgerung, welche auf inkongruente Lage der korrespondierenden Netzhautelemente lautet, den sogenannten Kundt'schen Teilungsversuch angeführt. Kundt[1]) hatte bekanntlich beobachtet, dass beim Halbieren einer horizontalen Strecke nach dem sogenannten Augenmass, und zwar unter Fixieren der halbierenden Spitze mit nur einem Auge, die äussere Hälfte regelmässig etwas grösser ausfällt als die innere, welche sich auf der temporalen Netzhautpartie abbildet. Das entgegengesetzte Resultat, welches H. Münsterberg[2]) und R. Fischer[3]) an relativ kleinen Strecken erhielten, ist entweder auf zufällige Fehlerquellen oder auf eine individuelle Eigentümlichkeit ihrer Augen zu beziehen (vergl. F. Hillebrand S. 55). Die wesentliche Übereinstimmung des Kundt'schen Ergebnisses mit der Schlussfolgerung, welche Hering und Hillebrand aus der Horopterabweichung gezogen haben, liegt auf der Hand. Auch die Beobachtung A. Nagels[4]), dass identische Druckschriften bei binokularer Verschmelzung im Haploskop auf einer gegen den Beobachter konvexen Fläche erscheinen, hat Hering als ein weiteres Argument von gleichem Sinne angeführt.

Bereits F. Hillebrand (Seite 55 Anm. 2) betonte ferner, dass die Differenzen der Gesichtswinkel, welche sich für ihn beim Kundt'schen Teilungsversuch ergaben, von derselben Grössenordnung (6 bis 20 Winkelminuten) waren wie die Abweichungen, welche er bei der Bestimmung des Längshoropters mittels eines besonderen des Spiegelhaploskopes fand.

Gleichwohl erschien es nicht überflüssig, die Übereinstimmung der Hering-Hillebrand'schen Horopterabweichung und des Kundt'schen Teilungsversuches an einer und derselben Versuchsanordnung und unter denselben Bedingungen messend darzutun. Die bezüglichen Beobachtungen wurden auf Anregung und unter Beteiligung von A. Tschermak ausgeführt.

1) Untersuchungen über das Augenmass. Poggendorff's Annalen der Physik Bd. 120 S. 118 bis 158. 1863.

2) „Augenmass". Beiträge zur experim. Psychol. H. 2 S. 125 bis 181. Freiburg 1889.

3) Grössenschätzungen im Gesichtsfeld. Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 37 H. 1 S. 97 bis 136, vgl. ebenda H. 3 S. 55 bis 85. 1891.

4) Das Sehen mit zwei Augen. S. 58. Heidelberg 1861.

II. Versuchsanordnung.

Der Kopf des Beobachters war durch einen metallenen Gebisshalter festgestellt und blickte in symmetrischer Konvergenz durch eine querovale, innen geschwärzte Röhre (27 cm breit, 23 cm hoch), welche einen passenden Ausschnitt für die Stirne trug. Am abliegenden Ende der Röhre war ein rechtwinkliges Diaphragma angebracht, dessen vier Wangen eine weitgehende Variation des Ausschnittes nach Höhe und Breite erlaubten. Als Beobachtungsobjekte wurden drei schwarze Chinesenhaare mit Loten benutzt, welche durch Vermittlung kleiner Schlitten nebeneinander von einem metallenen Querbalken herabhingen. Der Querbalken ruhte auf zwei weit seitlich abstehenden Säulchen. Die Schlitten gestatten eine Kreuzverschiebung der Lote mittels feiner Schrauben. Der Seitenabstand der beiden seitlichen Lote von dem genau median gestellten Mittellote konnte an der Skala des Querbalkens bis auf Zehntelmillimeter abgelesen werden. Eine andere kleine Skala gestattet die Verschiebungen nach vorne und hinten (sc. von der durch das Mittellot gelegten frontalen Ebene) zu messen. Die Lote hingen zur Dämpfung gegen Erschütterungen in einem Ölbade. Die ganze Aufhängevorrichtung ruhte auf einer Holztafel, welche wiederum auf einer grösseren wagerechten Platte, die mit Millimeterpapier bespannt war, verschoben werden konnte.

Der Beobachter sah nur drei feine schwarze Linien von angenähert gleichem Öffnungswinkel auf einer gleichmässig weissen, rechteckigen Fläche. Die mittlere Linie fixierte er dauernd: als Fixationspunkt diente zunächst eine ganz kleine Wachsperle, nach erreichter Übung eine kleine Ungleichmässigkeit an dem betreffenden Lothaar. Alle übrigen Teile der Versuchsanordnung waren dem Blicke entzogen. Alle sogenannten empirischen Motive für die Tiefenlokalisation waren durch die Versuchsanordnung ausgeschlossen; der Beobachter war bei binokularer Beobachtung ausschliesslich auf die Tiefenwahrnehmung beschränkt, wie sie auf Grund der Querdisparation der Eindrücke in beiden Augen erfolgt. Bei unokularer Beobachtung fehlte jede Grundlage für eine Tiefenauslegung: die drei Lote erschienen dem Beobachter auch bei Anordnung in erheblich verschiedener Tiefe dennoch in einer und derselben frontalen Ebene.

Bei den Versuchen beschränkte ich mich auf die beiden Beobachtungsdistanzen von 30 und 40 cm (Abstand des Mittellotes

vom äusseren Augenwinkel bezw. vom mittleren Knotenpunkte beiderseits: im ersteren Falle war das Diaphragma auf 13 cm Breite, 8 cm Höhe gestellt und befand sich 8 cm vor den Loten, im letzteren Falle waren die Zahlen: 10 cm Breite, 6 cm Höhe, 13 cm Abstand. Die beiden seitlichen Lote, welche indirekt beobachtet wurden, hatten entweder 40 oder 50 mm Seitenabstand. Die Konvergenz der auf das Mittellot gerichteten Gesichtslinien war eine genau symmetrische. Sie entsprach bei 67,7 mm Pupillardistanz (am Helmholtz'schen Visierzeichen bestimmt)

für 30 cm Beobachtungsdistanz . . 12° 57′ 26″
„ 40 „ „ . . 9° 42′ 32″.

Der Refraktionszustand meiner beiden Augen ist Emmetropie. Die Beobachtungen wurden in der Zeit von April bis Dezember 1904 mit zeitweiligen, grösseren Unterbrechungen bei guter Tagesbeleuchtung ausschliesslich von mir ausgeführt.

III. Ergebnis der Versuche.

In der ersten, binokularen Versuchsreihe wurde mittels der drei Lote der empirische Längshoropter bestimmt, d. h. die Lote wurden so eingestellt, dass sie in einer und derselben Frontalebene („Kernebene“ nach Hering), und zwar in gleichem Abstande voneinander erschienen. Die Einstellung wurde mehrmals nach je einer Pause in der Weise überprüft, dass zuerst nur das Mittellot sichtbar gemacht wurde, während die beiden Seitenlote durch je einen Schirm aus schwarzem Karton verdeckt waren. Dann wurde das eine, endlich auch das andere Seitenlot freigegeben. Die von A. Tschermak regulierte Einstellung nach der Tiefe zeigte eine sehr geringe Schwankungsbreite, deren zahlenmässige Registrierung hier wohl überflüssig ist. Andererseits lehrten besondere messende Versuche, dass die Einstellung auf scheinbar gleichen Seitenabstand, welche ich selbst bei konstant belassener Tiefenanordnung regulierte, mit geringer Schwankungsbreite um den objektiv richtigen Wert variierte. Das Nähere erhellt aus der nachstehenden Tabelle I meiner binokularen Versuche.

Nach dem obigen Resultat konnte in einer Anzahl von Versuchen auf die „freie“ binokulare Prüfeinstellung verzichtet werden und die objektiv symmetrische Einstellung gleich als „subjektiv richtig“ für binokulare Beobachtung vorausgesetzt werden. — Aus den

Seiten- und Tiefendistanzen, welche bei dieser Bestimmung des empirischen Längshoropters nach Hering's stereoskopischer Methode ermittelt wurden, konnte nun ohne weiteres die schematische Lage der Bildpunkte in beiden Augen berechnet werden. Es ergibt sich ferner daraus die Abweichung der korrespondierenden Netzhautelemente von der kongruenten oder identischen Lage. Aus der sehr angenäherten Übereinstimmung der objektiven und subjektiven Abstandsgleichheit bei binokularem Sehen ist endlich zu schliessen, dass jene Inkongruenz oder „Discrepanz“ nach Tschermak sehr angenähert gleichmässig auf meine beiden Augen verteilt ist. Zu demselben Schlusse führen übrigens auch die gleich zu erwähnenden Teilungsversuche mit je einem Auge. Hillebrand fand zwischen seinen beiden Augen einen nicht unbeträchtlichen Unterschied (siehe S. 56 bis 57 und Tab. S. 60).

Tabelle I.

Beobachtungsdistanz	Seitenabstand des fixen Seitenlotes mm	Beide Seitenlote stehen vor der Frontalebene des Mittellotes um mm	Binokulare Einstellungen des beweglichen Seitenlotes (die Ziffern in Klammer bedeuten die Anzahl der Einzelversuche)						Mittel aus allen Versuchen
			Mittel	Schwankungsbreite	Umschlagsgrenzen: eben zu nahe		eben zu fern		
					Mittel	Schwank.-breite	Mittel	Schwank.-breite	
I. 30 cm (Versuch vom 26. Dez. 1904)	40	1,6	39,98 (5)	39,7-40,4	39,9 (2)	—	40,2 (3)	40,0-40,4	39,94 (10)
II. 30 cm (Versuch vom 26. Dez. 1904)	50	2,2	50,12 (5)	40,9-50,4	49,75 (2)	49,6-49,9	50,1 (3)	50,0-50,3	50,15 (11)
III. 40 cm (Versuch vom 23. Dez. 1904)	40	1,43	40,02 (6)	39,6-40,4	39,87 (3)	39,8-40,0	40,33 (3)	40,2-40,4	39,95 (12)
IV. 40 cm (Versuch vom 23. Dez. 1904)	50	1,8	50,18 (5)	49,9-50,4	49,77 (3)	49,6-50,0	50,13 (3)	50,0-50,3	50,17 (9)

In der zweiten, unokularen Versuchsreihe war dem Beobachter die Aufgabe gestellt, ausgehend von der Horopteranordnung der drei Lote, ein Seitenlot nach dem Augenmasse scheinbar in dieselbe Entfernung von dem dauernd fixierten Mittellote einzustellen, wie sie dem anderen feststehenden Seitenlote gegeben worden war. In den einen Versuchen war das rechte, in den anderen das linke Auge abgeschlossen; bald wurde die messende, rein seitliche Verschiebung am rechten, bald am linken Seitenlote vorgenommen.

Die Tiefenanordnung blieb während der unokularen Versuchsreihe dieselbe, wie sie in der binokularen Versuchsreihe als „zutreffend" befunden worden war. Die zahlreichen Einzelversuche ergaben nun immer wiederum, dass die einäugige Einstellung, welche im Prinzip dem Kundt'schen Teilungsversuche gleichkommt, zu demselben Resultate, nämlich zu einer sehr angenähert objektiv richtigen Abstandsgleichung führt, wie die zweiäugige Einstellung. Da die erstere hinwiederum der Hering-Hillebrand'schen Horopterabweichung entspricht, so erscheint damit der messende Nachweis für die Übereinstimmung der Horopterabweichung und des Teilungsversuches erbracht.

Es sei zunächst das Ergebnis meiner unokularen Versuche zu einer Tabelle vereinigt (siehe Tab. II).

Tabelle II.

Beobachtungsdistanz	Seitenabstand des fixen Seitenlotes	Beide Seitenlote stehen vor der Frontalebene des Mittellotes um	Unokulare Einstellungen des beweglichen Seitenlotes in Millimetern (die Ziffern in Klammern bedeuten die Anzahl der Einzelversuche)		
			beobacht. Auge	Mittel	Schwankungsbreite
I. 30 cm (Vers. vom 4. Mai 1904)	40 mm	1,6 mm	R. A.	40,02 (7)	39,4—40,5
			L. A.	39,93 (7)	39,6—40,3
II. 40 cm (Vers. vom 27. Juli 1904)	40 „	1,43 „	R. A.	40,05 (6)	39,7—40,6
			L. A.	39,97 (6)	39,6—40,4
III. 40 cm (Vers. vom 1. Aug. 1904)	50 „	1,8 „	R. A.	49,72 (5)	49,2—50,5
			L. A.	49,9 (5)	49,6—50,3

Beobachtungsdistanz	Unokulare Einstellungen des beweglichen Seitenlotes in Millimetern (die Ziffern in Klammern bedeuten die Anzahl der Einzelversuche)				Mittel aus allen Versuchen		Gleichheit der Winkel für ein Auge bestünde bei Stellung
	Umschlagsgrenzen eben zu nah		Umschlagsgrenzen eben zu fern				
	Mittel	Schwankungsbreite	Mittel	Schwankungsbreite		mm	
I. 30 cm (Vers. vom 4. Mai 1904.)	39,9 (3)	39,8—40,0	40,37(3)	40,1—40,6	39,96(40)	39,98(76)	39,19 mm
	39,7 (4)	39,4—39,9	40,33(3)	40,2—40,5	39,97(36)		
II. 40 cm (Vers. vom 27. Juli 1904)	39,57(3)	39,2—39,9	40,4 (3)	40,2—40,7	39,93(12)	39,89(24)	39,57 „
	39,6 (3)	39,3—39,8	40,23(3)	40,1—40,4	39,85(12)		
III. 40 cm (Vers. vom 1. Aug. 1904)	49,63(3)	49,3—49,8	50,43(3)	50,2—50,7	49,80(22)	49,82(42)	49,26 „
	49,43(3)	49,2—49,6	50,27(3)	50,0—50,7	49,85(20)		

Die unokularen Versuche lieferten, wie gesagt, eine objektiv richtige Abstandsgleichung ebenso wie die binokularen Beobachtungen. Der objektiv wie subjektiv richtigen Abstandsgleichung entspricht jedoch im Winkelmass eine nicht unerhebliche objektive Ungleichung. Die subjektiv gleichwertigen Netzhautelemente auf der inneren und auf der äusseren Netzhauthälfte desselben Auges, ebenso die korrespondierenden Netzhautelemente in beiden Augen zeigen demnach die bekannte, charakteristische Abweichung (Inkongruenz, Diskrepanz) von der geometrisch richtigen Lage. Die bezüglichen Zahlenwerte sind aus Tabelle III zu ersehen.

Tabelle III.

(Pupillendistanz 67,7 mm.)

Beobachtungs-distanz	Seitenabstand beider Seitenlote vom Mittellot mm	Beide Seitenlote stehen vor der Frontalebene des um Mittellotes mm	Winkel-abstand der Netzhaut-stelle auf der nasalenNetz-hauthälfte (Winkel $\frac{\alpha}{2} + \delta$)	Winkel-abstand der Netzhaut-stelle auf der temporalen Netzhaut-hälfte (Winkel β)	Diskrepang zugunsten der nasalen Netzhaut-hälfte	Entspräche d. Teilung einer zur Gesichts-linie im Fixations-punkt senkrechten Strecke im Verhält-nis der nasal abge-bildeten Hälfte zur temporalen
I. 30 cm	40	1,6	7° 40′ 2″	7° 30′ 36″	9′ 26″	40,39 : 39,55 mm
II. 30 cm	50	2,2	9° 36′ 11″	9° 20′ 42″	15′ 29″	50,76 : 49,37 „
III. 40 cm	40	1,43	5° 44′ 30″	5° 40′ 48″	3′ 42″	40,22 : 39,79 „
IV. 40 cm	50	1,8	7° 11′ 7″	7° 4′ 43″	6′ 24″	50,43 : 49,67 „

[Die Berechnung der einzelnen Winkelmasse ergibt sich für die verschiedenen Entfernungen aus folgender geometrischer Figur.

Gegeben: d (Entfernung vom mittleren Knotenpunkt zum Mittellot, Rubrik 1 in den Tabellen),

b (Pupillardistanz),

t (Rubrik 3 in den Tabellen),

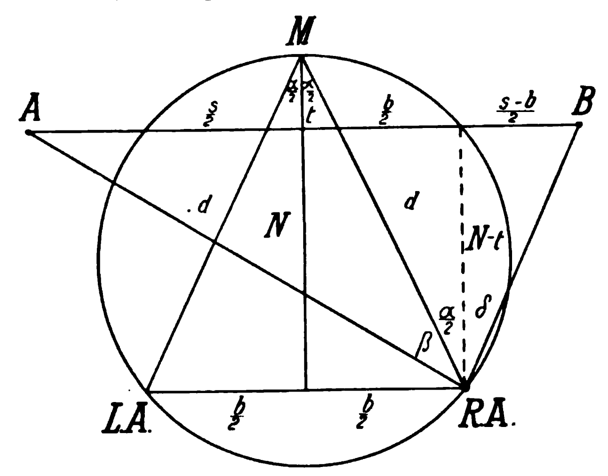
s ($\frac{s}{2}$ bildet Rubrik 2 in den Tabellen),

$$N = \sqrt{d^2 - \frac{b^2}{4}};\ \sin\frac{\alpha}{2} = \frac{b}{2d};\ \tan\frac{\alpha}{2} = \frac{b}{2N};\ \tan\left(\frac{\alpha}{2} + \beta\right) = \frac{s+b}{2(N-t)};$$

$$\tan\delta = \frac{s-b}{2(N-t)}\Big].$$

Die für meine Augen gefundenen Diskrepanzwerte sind etwas kleiner als jene, welche F. Hillebrand für seine Augen, speziell für sein linkes Auge, bestimmt hat. Mein empirisch ermittelter Längshoropter zeigt eine etwas geringere Abweichung vom Müller'schen

Horopterkreis bezw. eine relativ stärkere Krümmung als der für F. Hillebrand geltende. Bezüglich der individuellen Verschiedenheit der Breitendiskrepanzen, wie sie sich aus der Horopterfigur ergeben, sei noch bemerkt, dass ich diesbezüglich — wenigstens bis etwa 10° Exzentrizität — zwischen Hillebrand als Maximum und Kiribuchi stehe, an den sich Helmholtz anreiht. Auch J. Bernstein zeigte eine grössere Horopterabweichung als Helmholtz. Andererseits fehlte eine solche für Dastich und Berthold, indem ihr empirischer Längshoropter nach Hering's Definition mit dem Vieth-Müller'schen Horopterkreis zusammenfiel (vergl. Helmholtz, Physiol. Optik I. A. S. 654—656; II. A. S. 801—803).



Der Nachweis von Diskrepanzen zwischen dem objektiv geometrischen Lagewert der einzelnen Netzhautelemente und ihrem subjektiven Raumwert oder Lokalzeichen, zwischen den Winkeln der geometrisch konstruierten Richtungslinien und den Unterschieden der subjektiven Sehrichtungen stellt ein grundlegendes Argument dar zugunsten der subjektivistischen Sinnesphysiologie im Gegensatz zur objektivistischen Anschauungsweise, speziell zur Projektionstheorie. Nicht minder sprechen jene Erscheinungen für eine angeborene physiologische Grundlage unserer optischen Lokalisation, durch welche den einzelnen Netzhautelementen zwar nicht fixe subjektive Grössen- oder Richtungswerte, wohl aber fixe funktionelle Ordnungswerte zukommen. Doch mag hier der Hinweis auf die bezüglichen Ausführungen A. Tschermak's[1]) genügen.

1) Neue Untersuchungen über Tiefenwahrnehmung mit besonderer Rücksicht

Hier sei es mir noch einmal verstattet, Herrn Professor Dr. Tschermak aufrichtig für die Unterstützung bei dieser Arbeit zu danken und ferner meinem Dank Ausdruck zu verleihen für die Einführung in die physiologische Optik, die mir durch den Genannten vor zwei Jahren zuteil wurde gelegentlich einer Studienreise, die ich im Auftrag des Kgl. Bayer. Staatsministeriums nach Halle und Wien unternahm.

---

auf deren angeborene Grundlage. Vortrag auf dem I. Kongress für experimentelle Psychologie zu Giessen 1904, Bericht S. 28—29. Leipzig 1904. — Eine eingehendere Darstellung „über die Grundlagen der optischen Lokalisation nach Höhe und Breite" wird A. Tschermak im 4. Jahrgang der Ergebnisse der Physiologie von Asher-Spiro geben.

Über Antipräzipitine.

Von

P. Bermbach, Köln.

Wie bereits[1]) erwähnt, vermag das Blutserum eines mit einem Eiweiss präzipitierenden Serums vorbehandelten Tieres die Wirkung der Präzipitine auf das homologe Eiweiss aufzuheben. Die Ursache dieser Erscheinung hat man besonderen Körpern, „Antipräzipitinen", zugeschrieben. Es ist ohne weiteres verständlich, dass, um ein solches Serum zu erhalten, eine längere Zeit fortgesetzte Immunisierung unter Benützung grösserer Mengen Präzipitinserums nötig ist.

Wenn uns das Endresultat der Immunisierung mit Präzipitinen bekannt ist, so wissen wir doch wenig von den Vorgängen, die sich nach den einzelnen Injektionen im tierischen Organismus abspielen. Mit dieser Frage hat sich die Forschung noch nicht eingehender beschäftigt. Der ganze Werdegang eines solchen Serums lässt sich m. E. gründlich nur studieren an einer grösseren Anzahl von Tieren, welche die Entziehung eines grösseren Quantums Blut zwecks Untersuchungen auf das Vorhandensein von Antikörpern einige Tage nach jeder Injektion ohne Gefährdung ihrer Existenz vertragen. Hierzu aber lassen sich die beliebten Kaninchen nicht gebrauchen. Da ich nun leider bei meinen diesbezüglichen Versuchen ausschliesslich auf diese Tiere angewiesen war, so kann ich auch nur einen kleinen Beitrag zu der oben erwähnten Frage liefern.

Von einem (zentrifugierten) Menschenblut präzipitierenden Kaninchenserum, das in der Menge von 0,3 ccm in 5 ccm einer 2 %igen Verdünnung[2]) menschlichen Blutserums binnen mehreren Stunden noch einen deutlichen Niederschlag hervorrief, wurden subkutan injiziert:

Kaninchen A im ganzen 7 ccm innerhalb 6 Tagen,
„ B „ „ 6 „ „ 5 „

---

1) Pflüger's Archiv Bd. 107 S. 628.

2) Zu sämtlichen Verdünnungen wurde 0,85 %ige Kochsalzlösung benutzt.

Beide Kaninchen waren mittelgross; bei A geschah die Blutentnahme drei, bei B vier Tage nach der letzten Injektion. Die gewonnenen Blutsera wurden zentrifugiert und sofort untersucht, und zwar in der Weise, dass ich stets 0,5 ccm des zur Vorbehandlung benutzten Präzipitinserums + 1,5 ccm des Serums von Kaninchen A bezw. B entweder zu 5 ccm einer 2%igen Verdünnung menschlichen Blutserums oder zu 5 ccm Kochsalzlösung setzte und die einzelnen Gemische je 18 Stunden im Thermostaten (bei 37°) stehen liess.

Es zeigten hierbei Präzipitation:

1. menschliches Blutserum + Präzipitinserum + Serum von Kaninchen A bezw. B;
2. Kochsalzlösung + Präzipitinserum + Serum von Kaninchen A bezw. B.

Im ersten Falle war der Niederschlag stärker als im zweiten. Dass es sich in beiden Fällen um eine Ausfällung gelöster Eiweisssubstanzen und nicht um eine Senkung morphologischer Bestandteile der Sera handelte, zeigte das Klarbleiben der folgenden Kontrollproben:

a) menschliches Blutserum + Serum A bezw. B;
b) „ „ ohne jeden Zusatz;
c) Kochsalzlösung + Präzipitinserum;
d) „ + Serum A bezw. B.

Aus dem unerwarteten positiven Ausfall der Hauptversuche 1 und 2 muss man schliessen, dass „Antipräzipitine“ auf Menschenblut in den Seris A bezw. B gar nicht oder nur in ganz geringer Menge vorhanden waren.

Ob dieser Schluss richtig ist, wird sich aus dem Folgenden ergeben.

An dem positiven Ausfall des Versuches 2 sind die dem Menschenblut homologen Präzipitine unbeteiligt, da hier das Menschenblut durch Kochsalzlösung ersetzt ist. In dem benutzten Präzipitinserum müssen wir also unbedingt eine zweite Komponente, einen Eiweisskörper oder ein Präzipitin, annehmen, die mit einem im Serum A bezw. B enthaltenen homologen Körper ein Präzipitat gibt. In der Probe 1 geht diese Reaktion neben derjenigen zwischen dem Menschenserum und seinem homologen Präzipitin vor sich; darum ist auch hier der Niederschlag stärker als in Probe 2.

Um zu ermitteln, welcher Art diese zweite Komponente ist, wurde ein Teil des Serums B und des Präzipitinserums je 1/2 Stunde

lang auf 70 ° C. erhitzt und nach der Abkühlung nochmals zentrifugiert. Nach Dieudonné[1]) werden durch das Erhitzen die Präzipitine abgetötet.

Es ergaben einen — gleich starken — Niederschlag:

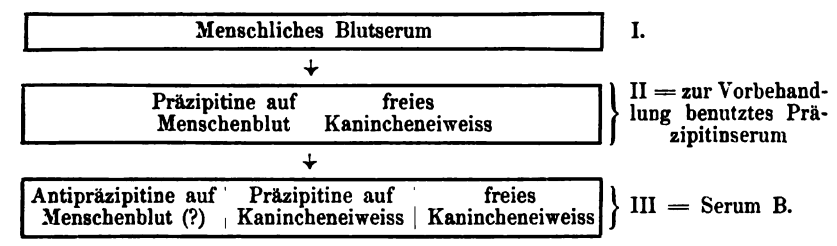
3. menschliches Blutserum + Präzipitinserum (vorher erhitzt) + Serum B (nicht erhitzt);
4. Kochsalzlösung + Präzipitinserum (vorher erhitzt) + Serum B (nicht erhitzt).

Nach dem Ausfalle dieser beiden Versuche kann die zweite Komponente des Präzipitinserums nur ein Eiweisskörper sein; das diesem entsprechende Präzipitin muss sich im Serum B finden. Das beweist auch der folgende Versuch:

5. Kochsalzlösung + Präzipitinserum (vorher erhitzt) + Serum B (vorher erhitzt) gaben keinen Niederschlag.

Die zweite Komponente kann ferner nur unverändertes Kanincheneiweiss sein. Dieses hat im Körper des Kaninchens B spezifische Präzipitine erzeugt. Im Anfange der Immunisierung mit Präzipitinen können sich also unter Umständen statt oder neben Antipräzipitinen diesen letzteren homologe Präzipitine finden.

Das folgende Schema soll meinen Befund veranschaulichen (die Pfeile bedeuten je eine Tierpassage):



Ebenso wie das zur Vorbehandlung benutzte Präzipitinserum wird auch das Serum B wieder freies Kanincheneiweiss enthalten.

Vom theoretischen Standpunkte aus betrachtet, hat dieser Befund durchaus nichts Befremdendes an sich. Im Immunserum sind die Präzipitine an die Globuline gebunden[2]); die mit Präzipitinen besetzten Globuline besitzen nicht mehr die Fähigkeit, bei der nächsten Tierpassage Präcipitine zu erzeugen; dies vermögen nur die in dem zu injizierenden Serum etwa noch vorhandenen unbesetzten

1) Immunität, Schutzimpfung und Serumtherapie. Leipzig 1903.

2) Biondi, Vierteljahrsschr. f. gerichtl. Med. 1902.

Globulinmoleküle, d. h. das unveränderte körpereigene Eiweiss des zur Erzeugung des Präzipitinserums benutzten Tieres.

Es ist nun nicht ausgeschlossen, dass in unserem Falle bei fortgesetzter Immunisierung mit Präzipitinen ein Stadium eingetreten wäre, wo sich im Blut der beiden Kaninchen A und B gleichzeitig mit den Präzipitinen auf Kanincheneiweiss auch in erheblicherer Menge „Antipräzipitine“ auf Menschenblut vorgefunden hätten. Bei der „wunderbaren Fähigkeit des Organismus, auf alle möglichen fremdartigen Substanzen ein spezifisches Reaktionsprodukt zu bilden“ (Dieudonné, l. c.) ist eine solche Möglichkeit nicht von der Hand zu weisen. Auch dann würden natürlich die Proben 1 und 2 positiv ausgefallen sein.

Entsteht bei der Prüfung eines mit Präzipitinen vorbehandelten Serums x ein Niederschlag, so spricht dies also nicht gegen die Anwesenheit von Antipräzipitinen im Serum x.

Es können auch Sera, die nach ihrer Provenienz gar keine Antikörper enthalten können, also als heterologe zu bezeichnen sind, die Präzipitation hemmen. Dies bewies mir eine grössere Anzahl von Versuchen, die ich folgendermassen anstellte. Durch Injektion von steriler Kuhmilch bei Kaninchen erhielt ich ein Serum, das in der Menge von 0,25 ccm in 4 ccm verdünnter (1 %) Kuhmilch nach einstündigem Aufenthalt im Thermostaten (bei 37 ° C.) noch deutliche Präzipitation hervorrief. Sodann setzte ich zu je 4 ccm verdünnter (1 %) Kuhmilch von jenem Laktoserum und von menschlichen, von verschiedenen Kranken stammenden, Blutseris wechselnde Mengen hinzu und liess diese Gemische zunächst ebenfalls eine Stunde im Thermostaten bei 37 ° C. stehen. Diejenigen Proben, welche alsdann noch keine Reaktion aufwiesen, wurden nach einem 17stündigen Aufenthalt im Eisschrank nochmals besichtigt. Es zeigte sich, dass die verschiedenen menschlichen Normalsera je nach Quantität und Qualität die Reaktion zwischen Laktoserum und Kuhmilch verlangsamten oder hemmten.

Von meinen Untersuchungsergebnissen bringt die folgende kleine Tabelle nur einige wenige. (Die verschiedenen Normalsera sind dort mit N_1, N_2, N_3 bezeichnet.)

		0,3 ccm	1,0 ccm
4 ccm verdünnter (1 %) Milch + 0,3 cm des Laktoserums +	N_1	+ nach 1 Std.	+ erst innerh. 18 Std.
	N_2, N_3	+ erst innerh. 18 Std.	— noch nach 18 Std.

Die Ursache der Differenz obiger Resultate glaube ich darin erblicken zu müssen, dass erstens durch den jeweiligen Zusatz des Normalserums die Zahl der Präzipitinmoleküle in der Volumeneinheit mehr oder weniger vermindert wird, zweitens der Eiweissgehalt der Normalsera ein verschiedener ist; dadurch, dass sich nun die Eiweissmoleküle des Normalserums zwischen Präzipitin und Kasein lagern, muss je nach dem Gehalt der Normalsera an Eiweiss eine mehr oder minder starke Hemmung der Reaktion erfolgen. Daraus folgt, dass sowohl der Zusatz einer kleinen Menge eines eiweissreicheren als auch der Zusatz einer grösseren Menge eines eiweissärmeren heterologen Serums dieselbe Wirkung hat wie ein Antipräzipitinserum.

Übrigens konnte ich bei allen diesen Versuchen (47) die Beobachtung machen, dass erst dann, wenn das Mengenverhältniss von Präzipitin- zu Normalserum 1,5 : 1 erreichte oder überstieg, regelmässig innerhalb einer Stunde deutliche Präzipitation auftrat, vorausgesetzt, dass die Menge des benutzten Präzipitinserums über den Titer (hier 0,25) hinausging.

Es kommt vor, dass sich im Serum eines Tieres trotz längerer Vorbehandlung mit Präzipitinen absolut keine Antikörper bilden: dass dieses Serum die Präzipitation hindern kann, ergibt sich aus dem soeben Gesagten.

Wie ausserordentlich schwierig, ja unmöglich es ist, im speziellen Falle „Antipräzipitine“ in einem Serum nachzuweisen, sollten meine Ausführungen dartun. Die bislang übliche Prüfungsmethode genügt nicht zum Nachweis der „Antipräzipitine“. Selbst dann, wenn ein hochwertiges Präzipitinserum bei Gegenwart der gleichen oder gar kleineren Menge eines entsprechend vorbehandelten Serums nicht mehr präzipitiert, können wir nach dem Gesagten nur mit Wahrscheinlichkeit, nicht mit Sicherheit, von „Antipräzipitinen“ sprechen.

(Aus dem k. k. physiol. Institute der böhm. Universität Prag.)

Über die Beziehung des centralen Nervensystems zu den Gestaltungsvorgängen der Metamorphose des Frosches.

Von

Privatdocent Dr. **Edward Babák,** Assistent des Institutes.

Im Jahre 1903 habe ich eine eigentümliche Beziehung zwischen den proximalen Abschnitten des Gehirns und den morphogenetischen Vorgängen der Metamorphose beobachtet. Am 18. September habe ich bei neun Kaulquappen (Gattung Bufo) das Gehirn bis zur Medulla oblongata entfernt. Während die Controlltiere desselben Entwicklungsstadiums in denselben Verhältnissen wie die Versuchstiere gepflegt, schon am 21. September sämmtlich die Vorderextremitäten durch die Kiemenhaut hervorgestreckt hatten, zeigte nur ein einziges Versuchstier dasselbe Benehmen. Ebenso die weiteren Wachstums- und Reductionsvorgänge der Metamorphose wurden bei den operierten Tieren entweder sehr verzögert oder sogar gehemmt. Während bei den Kontrolltieren der Dorsal- und Ventralsaum des Schwanzes am 24. September zu verschwinden begann und am 29. September nur winzige Schwanzstümpfe übrig blieben, erschien erst am 5. October bei dem zweiten Versuchstiere die linke Vorderextremität, und erst am 8. October waren beide frei; zugleich kam bei dem dritten die linke Vorderextremität zum Vorschein. Die übrigen Versuchstiere liessen derzeit noch keine Zeichen der Metamorphose sehen. Noch am 27. October besass das an zweiter Stelle angeführte einen langen Schwanz.

Eine grosse Larve von Rana esculenta, an welcher ich eine ähnliche Operation am 10. September durchgeführt hatte, erhielt allmählich den charakteristischen Froschhabitus, doch besass sie Mitte November noch einen langen Schwanz, dessen Säume allein in grösserem Umfange reduciert waren; proximal vor der Insertion der Vorder-

extremitäten sah man beiderseits ein grosses Loch, durch welches die roten Kiemen zu beobachten waren.

Diese Erscheinungen sind keinesfalls an die Herbstzeit gebunden (es ist nämlich bekannt, dass manche Anurenlarven überwintern können[1]), so dass die Metamorphose erst im Frühling des folgenden Jahres vollendet wird). Sie sind geradezu gesetzmässig mit dem erwähnten Eingriffe in das Centralnervensystem verbunden; die systematischen Untersuchungen, welche ich 1904 unternahm und dieses Jahr wieder fortsetze, belehrten mich, dass es sich hier um eine feste Beziehung des Nervensystems zu einigen Gestaltungsvorgängen der Metamorphose handelt. Allerdings bin ich bis heutzutage nicht im Stande, die Art dieser functionellen Beziehung näher zu präcisieren. Die ausführliche Behandlung der zahlreichen Versuchsreihen verschiebe ich zur späteren eingehenden Arbeit. Hier will ich mich nur auf einige typische Versuchsresultate als Beispiele beschränken.

Im Jahre 1904 wiederholte ich die operativen Eingriffe an Froschlarven, welche von Eiern im Institute erzogen wurden. Die Tiere sind viel kleiner als die im Freien gefangenen, doch ist ihre Entwicklung weit schneller, so dass mir schon Ende Mai genug Exemplare nahe der Metamorphose zu Gebote standen.

Am 28. Mai wurde bei einer Kaulquappe, bei welcher schon die Vorderextremitäten die Kiemenhaut zeltartig spannten, der proximale Abschnitt des Gehirns weggenommen; eine andere desselben Entwicklungsstadiums wurde neben ihr gepflegt. Am 31. Mai waren bei dem Kontrolltiere beide Vorderextremitäten frei, bei dem operierten nur die linke. Am 3. Juni war der Schwanzstumpf des normalen Tieres nur noch 6 mm lang, bei dem operierten mass der Schwanz 20 mm und war normalen Aussehens. Noch am 14. Juni betrug seine Länge 15 mm, und hinter dem Kopfe sah man entblösste, hellrote Kiemen, obzwar anders der ganze Habitus des Tieres ein froschartiger war (d. h. der Kopf ist vollständig umgeformt, die Verdauungsröhre verkürzt und die Leber vergrössert usw.).

Die Kontrolltiere einer Versuchsreihe, welche am 16. Juni begonnen wurde, waren am 26. Juni sämmtlich vollständig metamorphosiert; von den am Leben gebliebenen operierten Tieren zeigten

1) E. Pflüger, Das Überwintern der Kaulquappen der Knoblauchkröte. Pflüger's Arch. Bd. 31 S. 134. 1883.

zwei noch am 1. Juli und 5. Juli lange Schwänze und schöne Kiemen, obzwar ihr Habitus anders ein froschartiger war.

Ähnlich war es in einer anderen Versuchsreihe, welche am 23. Juni begann. Die Kontrolltiere waren am 28. Juni in Fröschchen umgewandelt, wogegen die Operierten noch in Mitte Juli (wo sie starben) lange Schwänze und Kiemen besassen usw.

Die neuen Versuche in diesem Jahre zeigen ähnliche Verhältnisse. Es gelang mir allmählich einige Umstände zu determinieren, welche für das Ergebnis der Operationseingriffe wichtig sind:

1. Es lässt sich vor allem die Abhängigkeit der Versuchsresultate von den zeitlichen Verhältnissen der Entwicklung der Larven sicherstellen. Am häufigsten, ja fast regelmässig wird die Reduction der Kiemen und des Schwanzes gehemmt, wenn die Gehirnoperation einige Tage vor dem nach äusseren Merkmalen leicht bestimmbaren Hervorbrechen der Vorderextremitäten durchgeführt wird. Wird die Operation an Tieren, bei welchen die Vorderextremitäten soeben zum Vorschein kamen, unternommen, so ist sie gewöhnlich indifferent; und wenn längere Zeit von dem Durchbruche der Vorderextremitäten verflossen ist, gelingt es überhaupt nicht, die Metamorphose zu hemmen. — Ebenfalls werden die Ergebnisse unsicher, wenn die Operation einige Wochen vor dem Beginn der Metamorphose durchgeführt wurde.

2. Es ist sehr wahrscheinlich, dass alle Gehirnabschnitte nicht im gleichen Maasse mit den morphogenetischen Vorgängen, welche die Reduction von Schwanz und Kiemen bedingen, in Beziehung treten. Wird das Vorderhirn allein exstirpiert, so durchläuft vielleicht die Metamorphose immer normal, während je distaler gelegene Gehirnabschnitte beseitigt werden, um so sicherer gelingt es, die Metamorphose zu hemmen. —

Der Erfolg der Operation hängt keinesfalls von der Gattungszugehörigkeit ab; die meisten Beobachtungen wurden allerdings an Kaulquappen von Rana temporaria und esculenta gemacht.

Auf welche Weise die proximalen Abschnitte des Gehirns die Gestaltungsvorgänge in den Kiemen, in dem Schwanze (und vielleicht noch in anderen Organen) bei der Metamorphose beeinflussen, ist vor der Hand schwer sich vorzustellen; vielleicht werden hier fortgesetzte Versuche mehr Licht bringen. Der Gedanke, dass vom Gehirn aus irgendwelche „ge-

staltende" Erregungen — als Analogon der „trophischen" Einwirkungen — in den Nervenbahnen zu den betreffenden Organen zufliessen könnten, ist zwar natürlich, aber viel zu unbestimmt. — Dass die operierten Tiere schwer beschädigt würden und demnach ihre Entwicklung gehemmt würde, dass also die angeführten Erscheinungen ganz indirect durch Störung des Allgemeinzustandes der Tiere bedingt wären, ist sehr unwahrscheinlich; denn die Versuchstiere benehmen sich oft sofort nach der Exstirpation des Gehirns bis zur Medulla oblongata sehr lebhaft und zeigen im Vergleiche mit den Controlltieren keine Symptome von Debilität; im Gegenteile bleiben sie grösstenteils länger am Leben. Es ist weiterhin nach Barfurth's[1]) Untersuchungen, welche ich bestätigen kann, bekannt, dass Hunger (wie überhaupt schlechte Lebensverhältnisse) die Metamorphose beschleunigen. Endlich berührt die Hemmung vorzugsweise die Kiemen und den Schwanz, ist also specifisch, electiv.

Es liegt mir daher am nächsten, die erwähnten Erscheinungen durch vermittelnde Faktoren der Circulations- und Gaswechselverhältnisse mit dem Centralnervensystem in Beziehung zu bringen. Nach Bataillon[2]) ist die Metamorphose mit gewaltigen Änderungen des Kreislaufs usw. ursächlich verbunden. Doch die kausale Analyse der Gestaltungsvorgänge überhaupt und derjenigen der Metamorphose im Besonderen ist bisher sehr dürftig, als dass ich heute mehr als diese Hypothese wagen könnte. Soeben bin ich beflissen, in der causalen Analyse experimentell vorzudringen.

Bemerkenswert ist an meinen Versuchstieren derjenige Umstand, dass die beiden Hauptvorgänge der Metamorphose — die Reduction des Schwanzes und der Kiemen — parallel gehemmt werden. Doch es scheint mir, dass auch die übrigen morphogenetischen Vorgänge der Verwandlung wenigstens verlangsamt werden, so z. B. der Durchbruch der Vorderextremitäten, die Umwandlungen des Verdauungscanals usw.

---

1) D. Barfurth, Versuche über die Verwandlung der Froschlarven. Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 29 S. 23. 1887.

2) E. Bataillon, Recherches expérimentales sur la métamorphose des anoures. Trav. du laborat. de physiologie génér. et comparée de l'univ. de Lyon t. 1 p. 66. 1888—1889.

Das Einzige kann ich aber schon auf Grund der bisherigen Untersuchungen behaupten: Die Ansicht, dass zwischen dem Nervensystem und den morphogenetischen Vorgängen der Metamorphose keine Beziehung besteht — wie sie von vielen Autoren vertreten wird — lässt sich nicht mehr halten.

(Aus dem Pharmakologischen Institut der Universität Bonn.)

Über die Ursache der oxydierenden Wirkung des Harns.

Von

P. Schürhoff, Assistent des Instituts.

Die folgende Arbeit dient als Fortsetzung der meines Vorgängers H. Bertram „Über Oxydation durch Harn" [1]). Ich kann daher sofort mit dem Gange meiner Untersuchung selbst beginnen und verweise im übrigen auf die dort bereits angegebene Literatur.

Schon mein Vorgänger hatte versucht, die oxydierende Wirkung des Harns durch Natriumhydrosulfit titrimetrisch zu bestimmen. Jedoch war die von ihm angewandte Methode mit Mängeln behaftet, die er zum Teil selbst aufführt. Dies war der Grund, weshalb ich dazu überging, Natriumhydrosulfit gegen Indigo zu titrieren, ein Verfahren, das von der Badischen Soda- und Anilinfabrik zur Wertbestimmung des Indigos angegeben wird [2]).

Als Lösungen verwandte ich:

I. Natriumhydrosulfitlösung. (Ungefähr 0,5 % $Na_2S_2O_4$ unter Zusatz von 0,5 % NaOH.)

II. Indigkarminlösung [3]). (Ungefähr 0,4 %.)

III. Indigodisulfosäure mit einem Gehalt von 0,1 % Indigo. Hergestellt durch Behandeln von Indigo (99,98 %) mit 30 ccm konzentrierter Schwefelsäure bei 50 ° unter gelegentlichem Umrühren, dann auffüllen auf 1000 ccm mit ausgekochtem, im Wasserstoffstrome erkaltetem Wasser.

Die Methode, nach welcher die Untersuchungen stattfanden, war folgende: eine dreihalsige Woulff'sche Flasche wurde als Titrationsgefäss benutzt. Durch den ersten Hals wurde Wasserstoff

---

1) Pflüger's Archiv Bd. 108 S. 109. 1905.

2) Im Selbstverlage erschienen: Indigo rein. B. A. S. F. 1899.

3) Aus technischem indigodisulfosaurem Natrium bereitet.

eingeleitet; durch den zweiten führte durch den Gummistopfen die Bürette der Natriumhydrosulfitlösung; der Gummistopfen des dritten Halses enthielt zwei Durchbohrungen, eine zum Evakuieren, die andere für die Bürette der Indigkarminlösung.

Der Urin wurde mehrmals ausgepumpt, die Luft durch Wasserstoff ersetzt und somit nach Möglichkeit ausgetrieben. Zur Titration wurden zu je 500 ccm Harn 10 ccm Natriumhydrosulfitlösung zugefügt. (Erwähnen muss ich hier noch, dass die Natriumhydrosulfitlösung von der Luft in sorgfältigster Weise abgeschlossen, direkt durch einen Zweiweghahn mit der Bürette, die auch immer mit Wasserstoff gefüllt war, verbunden blieb.)

Darauf wurde mit Indigkarmin bis zur Blaufärbung titriert. Sobald der Umschlag erfolgte, wurden wieder 10 ccm Natriumhydrosulfitlösung zugesetzt und ebenfalls wieder mit Indigkarmin bis zur Blaufärbung titriert. Für diese zweite Titration werde ich den Namen „Rücktitration“ anwenden. Die Differenz zwischen dem beidemaligen Verbrauch an Indigkarminlösung gibt dann an, wieviel von der Natriumhydrosulfitlösung durch die Bestandteile des Harns oxydiert war.

Durch den Wasserstoffstrom (bei fortwährendem Evakuieren) wurde die Flüssigkeit während der Filtration in Bewegung gehalten.

Ich lasse nun die Ergebnisse der Versuche folgen:

	Verbrauch an Indigkarminlösung	Rücktitration [1]	Differenz
I.	13,6 ccm	17,2 ccm	3,6 ccm
II.	14,6 „	17,6 „	3,4 „
III.	15,4 „	18,7 „	3,3 „
IV.	15,8 „	19,0 „	3,2 „
V.	15,4 „	18,8 „	3,4 „
VI.	15,7 „	19,2 „	3,5 „

Oder: Bei Gegenwart von 100 ccm Harn wurde an Indigkarminlösung weniger gebraucht bei: I. 0,72 ccm; II. 0,68 ccm; III. 0,66 ccm; IV. 0,64 ccm; V. 0,68 ccm; VI. 0,70 ccm.

Um den Titergehalt der Natriumhydrosulfitlösung festzustellen, wurde die aus reinem Indigo hergestellte Indigosulfosäure benutzt.

---

1) Ich arbeitete mit einer gesättigten Lösung von Indigkarmin. Sie setzte etwas ab; nur deshalb musste durch eine Rücktitration der Gehalt jedesmal festgestellt werden.

50 ccm dieser Indigosulfosäure wurden in einer Wasserstoffatmosphäre durch I. 6,8; II. 6,85; III. 6,8; IV. 6,9 ccm Natriumhydrosulfitlösung entfärbt.

Nehmen wir 6,8 ccm als Norm an, so ergibt sich:

6,8 ccm Natriumhydrosulfitlösung entfärben 50 ccm,
10 „ „ „ 73,5 ccm

Indigodisulfosäure mit einem Gehalt von 0,1 % Indigo. Oder 10 ccm Natriumhydrosulfitlösung reduzieren 0,0735 g Indigo (in Form der Disulfosäure) zu Indigweiss (d. h. zu Indigweissdisulfosäure): nach der Formel:

$$C_{16}H_{10}N_2O_2 + Na_2S_2O_4 + 4\,NaOH = C_{16}H_{10}N_2O_2Na_2 + 2\,H_2O + 2\,Na_2SO_3.$$

Es kommt also auf ein Molekül Indigo ein Molekül Natriumhydrosulfit. Daraus lässt sich der Prozentgehalt der Natriumhydrosulfitlösung berechnen:

$$\frac{Na_2S_2O_4}{C_{16}H_{10}N_2O_2} = \frac{174}{262} = \frac{x}{0{,}0735};\ x = 0{,}048$$ [1]).

Also waren in 10 ccm Natriumhydrosulfitlösung 0,048 g $Na_2S_2O_4$ enthalten; die Lösung war also 0,48 %ig.

Die Lösung des Indigkarmins war bei

I. $\frac{73{,}5}{17{,}2} = 4{,}27$ mal stärker als die Indigodisulfosäure

II. $\frac{73{,}5}{17{,}6} = 4{,}18$ „ „ „ „ „

III. $\frac{73{,}5}{18{,}7} = 3{,}93$ „ „ „ „ „

IV. $\frac{73{,}5}{19{,}0} = 3{,}87$ „ „ „ „ „

V. $\frac{73{,}5}{18{,}8} = 3{,}91$ „ „ „ „ „

VI. $\frac{73{,}5}{19{,}2} = 3{,}83$ „ „ „ „ „

Auf Indigo berechnet, würde die Indigkarminlösung also bei I. 0,427; II. 0,418; III. 0,393; IV. 0,387; V. 0,391; VI. 0,383 % Indigo enthalten haben.

Bei der Reduktion von Indigo zu Indigweiss nimmt ein Molekül Indigo zwei Atome Wasserstoff auf; daher

1) Für die Atomgewichte wurden die abgerundeten Zahlen genommen (H = 1).

$$\frac{H_2}{C_{16}H_{10}N_2O_2} = \frac{2}{262} = \frac{x}{a}.$$

x ist die Anzahl der Gramme Wasserstoff, die von einer bestimmten Menge Indigo (a) zur Reduktion verbraucht werden.

Bei Gegenwart von 100 ccm Harn wurden an Indigkarminlösung weniger gebraucht, d. i. an Indigo:

I.	0,72 ccm	Indigkarminlösung	. . . 0,00307	g	Indigo
II.	0,68 „	„	. . . 0,00284	„	„
III.	0,66 „	„	. . . 0,00259	„	„
IV.	0,64 „	„	. . . 0,00250	„	„
V.	0,68 „	„	. . . 0,00266	„	„
VI.	0,70 „	„	. . . 0,00268	„	„

Dieser Indigo erforderte zur Reduktion:

I.	0,0000231	g	Wasserstoff
II.	0,0000214	„	„
III.	0,0000195	„	„
IV.	0,0000188	„	„
V.	0,0000200	„	„
VI.	0,0000202	„	„

Berechnen wir die reduzierbare Substanz auf Sauerstoff, so erhalten wir: $\frac{2\,H}{O} = \frac{2}{16} = \frac{1}{8}$.

Oder 100 ccm Harn geben an Sauerstoff ab:

I.	0,0001848	g
II.	0,0001712	„
III.	0,0001560	„
IV.	0,0001524	„
V.	0,0001600	„
VI.	0,0001616	„

Bezieht man obige Ergebnisse auf die Oxydation der arsenigen Säure zu Arsensäure (um die Ergebnisse der Arbeit meines Vorgängers vergleichen zu können), so findet man

$$As_2O_3 + 2\,O = As_2O_5$$
$$198 + 32$$

198 g arseniger Säure bedürfen 32 g Sauerstoff, um zu Arsensäure oxydiert zu werden; oder 1 g Sauerstoff oxydiert $\frac{198}{32}$, d. i. 6,0 g As_2O_3 zu As_2O_5.

Also bei Versuch

I	wären	0,0011088	As_2O_3	zu	As_2O_5	oxydiert
II	„	0,0010272	„	„	„	„
III	„	0,0009360	„	„	„	„
IV	„	0,0009144	„	„	„	„
V	„	0,0009600	„	„	„	„
VI	„	0,0009696	„	„	„	„

Meine Ergebnisse stellen sich also etwas niedriger als die meiner Vorgänger; ich glaube dies auf die Alkalität der Natriumhydrosulfitlösung zurückführen zu müssen und verweise im übrigen auf die Arbeit meines Vorgängers Bd. 108 S. 111 unter 6.

Die Träger der oxydierenden Wirkung.

Nachdem nun die oxydierende Wirkung des Harns (bezw. der Nachweis, dass der Harn leicht reduzierbare Substanzen enthält) quantitativ festgestellt ist, müssen wir der Frage näbertreten: Welcher Körper im Harn besitzt diese oxydierenden Eigenschaften?

Zuerst möchte man wohl an das Vorhandensein von Fermenten denken. Dieser Frage ist H. Bertram schon nachgegangen S. 12 unter 6. Der Versuch hatte aber kein positives Ergebnis.

Ich stellte den Versuch ebenfalls an und fand, dass die oxydierende Wirkung sich nicht geändert hatte.

Versuch VII. Urin, ausgekocht, verbraucht nach Zusatz von 10 ccm Natriumhydrosulfitlösung 15,1 ccm Indigkarmin. Bei der Rücktitration wurden 18,2 ccm Indigkarmin verbraucht. Differenz 3,1 ccm.

Versuch VIII. 500 ccm desselben Urins, nicht ausgekocht, verbrauchen 15,4 ccm Indigkarmin. Bei der Rücktitration wurden 18,8 ccm Indigkarmin verbraucht. Differenz 3,4 cmm.

Von den im Harn enthaltenen sauerstoffreichen Verbindungen schienen mir vor allem die Nitrate als Träger der oxydierenden Wirkung in Betracht zu kommen. Ich zitiere hier Neubauer-Vogel[1]): „Nach den Untersuchungen von Wulffius und von Schönbein enthält jeder normale Harn geringe Mengen salpetersaurer Salze, die unzweifelhaft aus der genossenen Nahrung stammen, da ja alle Quell- und Flusswässer sowie manche Gemüsepflanzen,

1) Neubauer-Vogel, Harnanalyse. 1890. — Weyl u. Meyer, Pflüger's Arch. Bd. 36 S. 456. 1885.

Kohl, Spinat, Salat etc., kleine Mengen salpetersaurer Salze enthalten[1]). Im frischen Harn kommt nur Salpetersäure vor, keine salpetrige Säure, wie Schönbein fand und C. Röhmann bestätigte. Diese bildet sich immer erst beim Stehen des Harns, und zwar durch Reduktion der Salpetersäure, nicht durch Oxydation des Ammoniaks."

Ich glaube durch die Annahme, dass die Nitrate die sauerstoffabgebende Substanz des Harns sind, auch die Versuche von B. Schwarz[2]) S. 111 unter 4 und 6 erklären zu können; denn durch den Zusatz von SO_4H_2 wurde Salpetersäure in Freiheit gesetzt und wirkte dann leicht oxydierend auf die arsenige Säure ein; bekanntlich ist dies ja auch die gebräuchliche Methode zur Darstellung der Arsensäure aus arseniger Säure.

Unter 6 gibt Schwarz eine die Oxydationskraft herabsetzende Wirkung von Ammoniak an. Es kann sich in diesem Falle nicht so sehr um die oxydierende Wirkung der Nitrate handeln, weil die oxydierende Wirkung derselben eine saure Reaktion voraussetzt, als vielmehr um die reduzierende Wirkung der arsenigen Säure. Durch den Alkalizusatz steigt nämlich die Reduktionskraft der arsenigen Säure, während die Oxydationskraft der Nitrate herabgesetzt wird. „Auf viele Metalloxyde wirkt As_4O_6 in alkalischer Lösung reduzierend; CuO geht in Cu_2O über; $AgNO_3$ wird zu Ag, Ag_4O (?) reduziert, indes K_3AsO_4 sich löst." [3])

Es schien deshalb wünschenswert, die oxydierende Eigenschaft des Harns durch Nitrate zu beeinflussen.

Zu diesem Zwecke wurde eine Messerspitze Natriumnitrat zu 500 ccm Harn hinzugefügt. Gleichzeitig wurde mit 500 ccm desselben Harns eine Gegenprobe angestellt.

Der normale Urin verbrauchte bei

Versuch IX nach Zusatz von 10 ccm Natriumhydrosulfitlösung 16,7 ccm Indigkarminlösung; bei der Rücktitration wurden 19,5 ccm Indigkarminlösung verbraucht. Differenz also **2,8 ccm.**

---

1) Über den Nitratgehalt der Nahrungsmittel gibt König, Die menschlichen Nahrungs- und Genussmittel usw. 1883 S. 317 und 670 folgendes an: S. 670: „In reinem Wasser beträgt der Salpetersäuregehalt 15—30 mg pro Liter." S. 317: „In den grünen Pflanzen der Gramineen und Leguminosen ist sie (d. i. Salpetersäure) bis zu 0,1 % enthalten."

2) H. Bertram, Über Oxydation durch Harn.

3) Dammer, Handbuch der anorg. Chemie Bd. 2 T. 1 S. 171 u. 172. 1894.

Versuch X. 500 ccm Urin unter Zusatz von Natriumnitrat brauchte nach Zusatz von 10 ccm Natriumhydrosulfitlösung 11,8 ccm Indigkarminlösung. Bei der Rücktitration wurden 19,65 ccm Indigkarminlösung verbraucht. Differenz 7,85 ccm.

Hieraus ergibt sich, dass zugesetztes Nitrat die oxydierende Wirkung des Harns erhöht hat.

Nehmen wir nun an, dass die Nitrate allein die Träger der oxydierenden Eigenschaften des Harns sind, so ist natürlich nicht ohne weiteres zu glauben, dass die Umsetzung in Nitrite quantitativ verläuft. Dies zeigt schon der Versuch von B. Schwarz, der die oxydierende Wirkung des Urins durch Zusatz von Schwefelsäure steigerte oder durch Ammoniak hemmte. Wir können daher durchaus nicht aus der berechneten Menge der Sauerstoffabgabe den Gehalt an Nitraten feststellen. Jedenfalls würde er zu klein ausfallen. Besonders müsste die von mir angewandte Methode der Bestimmung der oxydierenden Kraft durch Natriumhydrosulfit zu geringe Ergebnisse liefern, da die Eigenschaften des Natriumhydrosulfits es bedingen, dass in alkalischer Lösung gearbeitet wird.

Als weiterer Versuch wurde folgender angestellt. Abends nahm ich 1,0 g Natriumnitrat ein. Ein Liter des ausgeschiedenen Urins, worin das Natriumnitrat sehr leicht durch Diphenylaminschwefelsäure nachweisbar war, wurde in gleiche Teile geteilt und dann titriert. Dabei ergab sich:

Versuch XI. 500 ccm Urin + 10 ccm Natriumhydrosulfitlösung verbrauchen 12,5 ccm Indigkarmin; zur Rücktitration erforderlich 19,65 ccm Indigkarmin. Differenz 7,15 ccm.

Versuch XII. 500 ccm Urin + 10 ccm Natriumhydrosulfidlösung verbrauchen 12,46 ccm Indigkarmin; zur Rücktitration waren erforderlich 10,65 ccm Indigkarmin. Differenz 7,2 ccm.

Daraus folgt, dass der Urin, welcher einen Zusatz von ungefähr 0,5 ‰ Natriumnitrat enthielt (mehr Natriumnitrat war jedenfalls nicht hinzugekommen, da der Urin den ganzen Tag noch reichlich Nitrat enthielt und etwas Nitrat auch reduziert[1]) war), mindestens eine doppelt so grosse oxydierende Wirkung ausübte, wie der normale Urin.

---

1) C. Binz und P. Gerlinger, Die Reduktion des Natriumnitrats im Tierkörper. Archives internationales de Pharmacodynamie et de Thérapie t. 9 p. 441. 1901.

Um zu erfahren, wieviel Sauerstoff von Natriumnitrat (im Urin gelöst) abgegeben wird, wurde die Oxydationskraft eines Urins festgestellt und nach Zusatz von 0,25 g Natriumnitrat zu den zweiten 500 ccm desselben Harns die Zunahme der oxydierenden Wirkung ermittelt.

Versuch XIII. 500 ccm Harn + 10 ccm Natriumhydrosulfidlösung verbrauchen 16,35 ccm Indigkarmin. Zur Rücktitration erforderlich 19,6 ccm Indigkarmin. Differenz 3,25 ccm.

Versuch XIV. 500 ccm Harn + 0,25 g Natriumnitrat + 10 ccm Natriumhydrosulfidlösung verbrauchen 13,7 ccm Indigkarmin. Zur Rücktitration erforderlich 19,65 ccm Indigkarmin. Differenz 5,95 ccm.

Die Differenz zwischen der oxydierenden Wirkung bei den Versuchen XIII und XIV beträgt 2,7 ccm.

2,7 ccm Indigkarmin entsprechen 0,25 g Natriumnitrat. Hiernach würden schätzungsweise in 100 ccm Harn 0,06 g Nitrate (auf Natriumnitrat berechnet) vorhanden sein.

Wie wir sogleich sehen werden, verläuft die Reduktion der Nitrate zu Nitriten in unserem Falle nicht quantitativ. Nach Zusatz von 0,25 g Natriumnitrat wurden 2,7 ccm Indigkarminlösung weniger verwandt als ohne jenen Zusatz. In 2,7 ccm Indigkarminlösung war 0,010098 g Indigo enthalten. Zur Reduktion dieser Menge Indigo wären 0,0000759 g Wasserstoff erforderlich gewesen, d. h. der Indigo war äquivalent 0,0006072 g Sauerstoff.

Diese Menge Sauerstoff entspricht aber 0,003226 g Natriumnitrat; d. h. von den zugesetzten 0,25 g Natriumnitrat wurden nur 0,003226 g zu Nitriten reduziert.

Wenn ich die reduzierende Wirkung der alkalischen Natriumhydrosulfitlösung durch Indigkarmin titrimetrisch in Wasser festzustellen versuchte, bekam ich keinen deutlichen Farbenumschlag; die Flüssigkeit wurde gelb bis rot und endlich tief blutrot.

Dieser Farbenumschlag war durch die Alkalität der Natriumhydrosulfitlösung bedingt.

Um nun auch in Wasser die Zunahme der Oxydationsfähigkeit durch Zusatz von Natriumnitrat quantitativ feststellen zu können, wurde eine neue Natriumhydrosulfitlösung hergestellt (ungefähr 0,05 % $Na_2S_2O_4$), aber ohne Zusatz von Natriumhydroxyd. Weil diese Lösung sich leicht zersetzt, wurde sie sehr häufig erneuert.

Ich stellte zuerst fest, dass von dieser neutralen Natriumhydrosulfitlösung 10 ccm 50 ccm Indigodisulfosäure (0,1 % Indigo) entfärbten, und ging dann über zu

Versuch XV. 500 ccm Wasser + 10 ccm neutraler Natriumhydrosulfitlösung entfärben 19,1 ccm Indigkarminlösung.

Versuch XVI. 500 ccm Wasser + 0,25 Natriumnitrat + 10 ccm neutraler Natriumhydrosulfitlösung entfärben 19,0 ccm Indigkarminlösung.

Es zeigte sich also, dass Natriumnitrat in Wasser auf die neutrale, schwache Natriumhydrosulfitlösung keinen bemerkbaren Einfluss ausübte.

Versuch XVII wie XV. Verbrauch an Indigkarminlösung 17,5 ccm.

Versuch XVIII wie XVI. Verbrauch an Indigkarminlösung 17,3 ccm.

Versuch XIX wie XV. Verbrauch an Indigkarminlösung 17,5 ccm.

Versuch XX wie XVI. Verbrauch an Indigkarminlösung 17,7 ccm.

Aus obigen Versuchen lässt sich schliessen, dass im Harn noch eine andere Substanz vorhanden ist, die günstig auf die Sauerstoffabspaltung einwirkt.

Schon die Versuche meiner Vorgänger hatten ergeben, dass die Oxydationskraft des Harns durch Zusatz von Säuren gesteigert werden konnte. Es lag also nahe, die Abgabe des Sauerstoffs in Verbindung zu der sauren Reaktion des Harnes zu bringen.

Bekanntlich wird die saure Reaktion des frischen Urins bedingt durch das Vorkommen der sauren Phosphate, vor allem des Mononatriumorthophosphates (NaH_2PO_4) und des Monocalciumorthophosphates [$Ca(H_2PO_4)_2$] [1]). Wahrscheinlich werden also die sauren Phosphate die Sauerstoffabgabe begünstigen. Ich ging deshalb über zu

Versuch XXI. 500 ccm Wasser, 0,25 g Natriumnitrat, 3,0 g Mononatriumorthophosphat, 10 ccm neutraler Natriumhydrosulfitlösung verbrauchen 51,1 ccm Indigkarminlösung.

Versuch XXII. 500 ccm Wasser, 10 ccm neutraler Natriumhydrosulfitlösung verbrauchen 17,5 ccm Indigkarminlösung. Differenz zwischen beiden Versuchen im Verbrauch von Indigkarminlösung 2,4 ccm.

---

1) Näheres bei Halliburton, Lehrbuch der chemischen Physiologie und Pathologie 1893 S. 789.

Es zeigte sich also, dass Natriumnitrat bei Gegenwart von Mononatriumorthophosphat oxydierend wirkt in Fällen, in denen es ohne diesen Zusatz indifferent bleibt.

Als Beweis, dass jedoch nur die saure Reaktion, die durch die sauren Phosphate bedingt wird, die Sauerstoffabgabe des Natriumnitrates erleichtert, dienten:

Versuch XXIII. 500 ccm Urin, mit Natronlauge neutralisiert + 10 ccm neutraler Natriumhydrosulfitlösung verbrauchten 18,7 ccm Indigkarminlösung. Zur Rücktitration erforderlich 18,5 ccm Indigkarminlösung.

Versuch XXIV. 500 ccm Urin, mit Natronlauge neutralisiert + 0,25 g Natriumnitrat + 10 ccm neutraler Natriumhydrosulfitlösung verbrauchten 19,0 ccm Indigkarminlösung. Zur Rücktitration erforderlich 18,7 ccm.

Bei folgenden Versuchen trat dies noch deutlicher zutage:

Versuch XXV. Wasser 500 ccm + (schwach) alkalische Natriumhydrosulfitlösung 10 ccm verbrauchten Indigodisulfosäure (0,1 % Indigo, Überschuss an Schwefelsäure) 49,8 ccm.

Versuch XXVI wie XXV. Verbrauch an Indigodisulfosäure 50,2 ccm.

Versuch XXVII wie XXV. Verbrauch an Indigodisulfosäure 49,3 ccm.

Versuch XXVIII. Wasser 500 ccm + alkalische Natriumhydrosulfitlösung 10 ccm + Natriumnitrat 3,0 g verbrauchten Indigodisulfosäure 32,85 ccm.

Versuch XXIX wie XXVIII. Verbrauch an Indigodisulfosäure 33,6 ccm.

Versuch XXX wie XXVIII. Verbrauch an Indigodisulfosäure 33,2 ccm.

Nehmen wir aus obigen Versuchen mittlere Werte, so erhalten wir als Differenz 16,55 ccm Indigodisulfosäure für 3,0 g Natriumnitrat.

Zahlreiche Versuche, bei denen Natriumnitrat und Mononatriumorthophosphat benutzt wurden, zeigten ebenfalls in grosser Übereinstimmung an, dass die Nitrate in saurer Lösung leicht zur Oxydation geneigt sind.

Dass die sauren Phosphate allein die oxydierende Wirkung nicht ausüben, zeigt, abgesehen davon, dass es nicht wahrscheinlich ist, folgender

Versuch XXXI. Wasser 500 ccm + Mononatriumorthophosphat 3,0 ccm + neutrale Natriumhydrosulfitlösung 10 ccm. Verbrauch an Indigkarminlösung 24,7 ccm. Rücktitration 24,5 ccm Indigkarminlösung.

Versuch XXXII wie XXXI. Verbrauch an Indigkarminlösung 24,9 ccm; Rücktitration 24,6 ccm.

Die Nitrate in saurer Lösung sind aber nicht die einzige Ursache der Oxydation; auch Wasserstoffsuperoxyd ist vorhanden.

Stellt man nämlich die Schönbein'sche Reaktion an, so gelingt dieselbe wohl mit Urin, nicht aber mit einer wässerigen Lösung von Nitrat bei Gegenwart von saurem Phosphat. Geringe Spuren zugesetzten Wasserstoffsuperoxyds bewirken jedoch sofort einen positiven Ausfall der Schönbein'schen Reaktion. Es ist daher im Harn Wasserstoffsuperoxyd oder ein ähnlich konstituierter Körper anzunehmen.

Die Bedeutung der Nitrate in saurer Lösung überwiegt jedoch im Harn die des Wasserstoffsuperoxyds bei den Oxydationsvorgängen; denn

1. das Wasserstoffsuperoxyd allein würde durch einstündiges starkes Kochen zersetzt sein; die oxydierende Wirkung des Harns war aber kaum vermindert;
2. durch Zusatz von Säuren würde die oxydierende Wirkung nicht in so bedeutender Weise gesteigert werden können;
3. war das Wasserstoffsuperoxyd in so kleinen Mengen vorhanden, dass quantitativ der Gehalt des Harns an Wasserstoffsuperoxyd durch Titrieren nicht annähernd bestimmt werden konnte.

Ich habe noch einen andern Weg gefunden, als den von Schönbein, um die oxydierende Wirkung des Harns qualitativ nachzuweisen.

Zu 20 ccm Harn setzt man eine frisch bereitete Lösung von Ferrosulfat (1 : 5) und 10 ccm konzentrierter Schwefelsäure zu; darauf fügt man noch 10 ccm Ammoniumrhodanatlösung (1 : 10) hinzu. Es entsteht eine tiefrote Färbung, da das Ferrosulfat zu Ferrisulfat oxydiert wird, das mit Rhodanammonium in der angegebenen Weise reagiert.

Derselbe Versuch mit 20 ccm Wasser (statt des Harns) angestellt, zeigte höchstens eine orange Färbung, von Spuren Ferrisulfat im Ferrosulfat herrührend.

Auch Kaninchenharn, der bekanntlich alkalisch reagiert, gibt nach vorstehender Reaktion, die ihn sauer macht, den Nachweis der Oxydation.

Als Ergebnisse meiner Arbeit darf ich wohl hinstellen:

1. Die oxydierende Wirkung des Harns wird hervorgerufen durch die Nitrate der Nahrung bei gleichzeitiger Anwesenheit saurer Phosphate und durch Spuren von Wasserstoffsuperoxyd.

2. Die oxydierende Eigenschaft des Harns kann qualitativ durch die Oxydation der Ferrosalze nachgewiesen werden, ohne Indigozusatz.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Königsberg i. Pr.)

Beiträge zur Physiologie und Physik des Nerven.

Von

L. Hermann.

(Mit 16 Textfiguren.)

In den letzten Jahren habe ich, um zu einem erschöpfenden Verständnis des Elektrotonus zu gelangen, das ursprüngliche Kernleitermodell verlassen, indem ich mir den früher gefundenen Umstand zu nutze machte[1]), dass eine kontinuierliche Berührung von Kern und Hülle nicht erforderlich ist. Hierdurch wurde es möglich, die durch Nebenerscheinungen, z. B. Zerstreuung, stark gestörte Polarisation am Platindraht oder anderen Metallen, durch die exakteren Erscheinungen an Kapillarelektrometern zu ersetzen, und weiterhin an Stelle der Polarisation die im Prinzip analoge Ladung von Kondensatoren zu verwenden. Vor allem aber wurde es mir möglich, auf diesem Wege dem Kernleiter die Eigenschaft der Selbstinduktion[2]) hinzuzufügen und so zu einem Modell der Erregungsleitung im Nerven zu gelangen.

Die wesentlichsten so ausgeführten Versuche sind in mehreren Arbeiten in den Annalen der Physik kurz mitgeteilt[3]). Auf gewisse Fragen von ausschliesslich physiologischem Interesse konnte aber an jener Stelle nicht eingegangen werden, und diese Ergänzung soll hier erfolgen.

Ausserdem aber hat sich immer dringender das Bedürfnis einer strengeren Durchführung der sogen. Kernleitertheorie des Elektro-

1) Dieses Archiv Bd. 6 S. 313. 1872.

2) Vgl. dieses Archiv Bd. 75 S. 574. 1899.

3) Hermann, Annalen d. Physik (4) Bd. 12 S. 932. 1903. — Hermann und Gildemeister, ebendaselbst Bd. 14 S. 1031. 1904. — Hermann, ebendaselbst Bd. 17 S. 501. 1905.

tonus herausgestellt, namentlich hinsichtlich der zeitlichen Ausbreitung. Blosse Veranschaulichungsschemata, wie ich sie in meiner ersten Aufstellung der Theorie gegeben habe, und wie sie später von Boruttau, Hoorweg u. a. erörtert worden sind, genügen nicht zum sicheren Übersehen der Vorgänge. Dass ich die theoretische Darstellung auch auf gegliederte Kapazitätsleiter ausgedehnt habe, war in erster Linie dadurch veranlasst, dass ich hauptsächlich an solchen experimentiert habe, hat sich aber auch hinsichtlich des Verständnisses nützlich erwiesen.

A. Theoretisches.

1. Kapazität, Polarisation und Übergangswiderstand.

Bekanntlich hat ein idealer Polarisationsapparat, z. B. ein Kapillarelektrometer von hinreichend kleinem Meniskus, sobald man sich auf Spannungen unterhalb des Polarisationsmaximums beschränkt, alle Eigenschaften eines Kondensators von einer bestimmten Kapazität c. Ist v die Polarisation oder das Potential zur Zeit t, so gelten, wenn w der Widerstand des Kreises (mit Ausschluss des Apparates) und E die einwirkende Spannung, die Gleichungen

$$wi = E - v \quad \text{und} \quad i = c\,\frac{dv}{dt},$$

aus welchen folgt

$$v = E\,(1 - e^{-\frac{t}{cw}}) \quad \text{und} \quad i = \frac{E}{w}\,e^{-\frac{t}{cw}}.$$

v steigt also von 0 auf E, und i nimmt von E/w auf 0 ab.

Man denke sich nun den Kernleiter ersetzt durch ein System wie Fig. 1, in welchem AB die Hülle, CD den Kern repräsentiert, und $a, b, c \ldots$ Kondensatoren oder ideale Kapillarelektrometer[1]) bedeuten. Man kann AB als Repräsentanten der Hülle, CD als den des Kerns ansehen, oder umgekehrt. Erteilt man den Punkten A und C eine Potentialdifferenz E, so ladet sich offenbar jeder der Apparate α, β, γ . . auf E; hat jeder derselben die Kapazität c, so

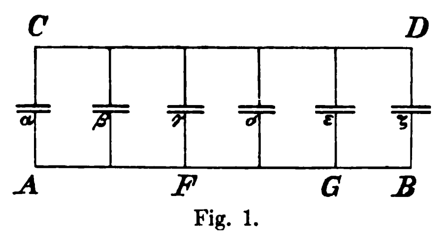


Fig. 1.

1) Als ideal bezeichne ich solche, welche den zugeleiteten Strom wirklich annullieren.

ist die angesammelte Elektrizitätsmenge bei n Apparaten $= ncE$, und die Gesamtkapazität $= nc$. Wir wollen diese Art der Beanspruchung die zweiseitige nennen. Die zeitliche Herstellung des stationären Zustandes, welche unten zu erörtern ist, lässt sich vollkommen übersehen. Das aber ergibt sich ohne Rechnung, dass im stationären Zustande das System völlig stromlos, alle Ladungsströme also vergänglich sind.

Eine zweite Art der Beanspruchung, die wir als einseitige bezeichnen wollen, besteht darin, dass eine Potentialdifferenz E zwei Punkten der Leitung AB, z. B. F, G, erteilt wird. Auch hier findet eine Ladung sämtlicher Apparate statt, aber nicht mehr in gleicher Grösse, und ferner beiderseits von der Mitte in entgegengesetztem Sinne. Der stationäre Endzustand besteht aber auch hier darin, dass das ganze System stromlos ist, mit Ausnahme der zwischen beiden Zuleitungspunkten gelegenen Strecke der Leitung AB.

Bezeichnet man als Elektrotonus Stromzweige in den extrapolaren Teilen der teilweise beanspruchten Strecke AB, so zeigt also das System keinen stationären Elektrotonus, sondern wiederum nur vergängliche Ladungsströme.

Stationären Elektrotonus können nur solche Systeme geben, deren ladbare Apparate die Eigenschaft haben, den durchgeleiteten Strom nicht vollständig zu annullieren. Diese Eigenschaft haben die gewöhnlichen Kombinationen von Metallen und Elektrolyten, also die ordinären Kernleiter, ferner Kapillarelektrometer von grossem Meniskus, z. B. die für die meisten Zwecke sehr bequemen Ostwald'schen, endlich, wenigstens in gewissem Grade, die meisten Papierkondensatoren, deren „Isolationswiderstand“ nicht, wie er sein sollte, unendlich gross ist.

Um nun diese Eigenschaft in einen mathematisch verwendbaren Ausdruck zu bringen, braucht man nur zu jedem Apparate α, β, γ ... in obiger Figur eine einfache Nebenschliessung hinzuzudenken, deren Widerstand den „endlichen Isolationswiderstand“ repräsentiert. Hat z. B. in Fig. 2 der Kondensator K die Kapazität c und wegen unvollkommener Isolation den Übergangswiderstand r, der wie eine Nebenschliessung wirkt, so ergibt sich aus den Kirchhoff-schen Sätzen:

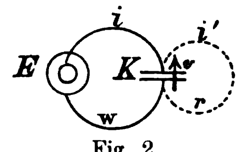


Fig. 2.

$$wi + ri' = E \qquad c\frac{dv}{dt} = i - i',$$
und ferner
$$ri' = v \qquad \text{oder } i = c\frac{dv}{dt} + \frac{v}{r}\text{[1]},$$

woraus folgt

$$\frac{dv}{dt} + \frac{w+r}{wrc}v = \frac{E}{wc},$$

also, da für $t = 0$ $v = 0$ ist,

$$v = \frac{rE}{w+r}(1 - e^{-\frac{w+r}{wrc}t}),$$

und weiter

$$i = \frac{E}{w+r}(1 + \frac{r}{w}e^{-\frac{w+r}{wrc}t}).$$

Die Ladung v steigt also von 0 auf den Endwert $\frac{rE}{w+r}$, statt auf E. Der Strom i sinkt von $\frac{E}{w}$ auf den Endwert $\frac{E}{w+r}$, statt auf 0. Dis Kapazität c erscheint vermindert auf den Wert $\frac{r}{w+v}c$, den man als die „scheinbare Kapazität" bezeichnen kann. Wie man sieht, ist dieser Wert nicht nur von r, sondern auch vom Widerstand der Zuleitung abhängig.

Der Übergangswiderstand r ist also zugleich der Widerstand des Kondensators bei stationärer Durchströmung; denn es ist, wie angegeben, im stationären Endzustand

$$i = \frac{E}{w+r}.$$

2. Zeitliche Vorgänge und Stationärzustände an gegliederten Kapazitätssystemen.

a) Zweiseitige Zuleitung. (Übergangswiderstand unendlich[2]).

Fig. 3 ist das Schema eines gegliederten Kapazitätsleiters, wie Fig. 1. Den Punkten r und s werde zur Zeit $t = 0$ eine Potential-

1) Diese Gleichung habe ich schon früher aufgestellt; vgl. dieses Archiv Bd. 42 S. 67. 1888 nur war damals das jetzige v durch p, c durch $1/h$, r durch α ausgedrückt.

2) Der Fall des endlichen Übergangswiderstandes ist hier von keinem praktischen Interesse.

differenz E erteilt. Die Kapazität jedes Kondensators sei c[1]), die Potentialdifferenz, welche dieselben zur Zeit t angenommen haben, sei der Reihe nach $v_1, v_2, v_3, \ldots v_n$; die Widerstände der Leitungen (beide Seiten zusammen) seien $\alpha, \beta, \gamma, \ldots$; die Stromstärken $i_1, i_2, i_3 \ldots i_n$. Im stationären Zustande werden (siehe oben) alle $v = E$, und alle $i = 0$. — Man erhält folgende Systeme von Gleichungen:

Fig. 3.

$$\left.\begin{aligned} \alpha i_1 &= E - v_1 \\ \beta i_2 &= v_1 - v_2 \\ \gamma i_3 &= v_2 - v_3 \\ &\text{usw.} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (1) \qquad \left.\begin{aligned} c\frac{dv_1}{dt} &= i_1 - i_2 \\ c\frac{dv_2}{dt} &= i_2 - i_3 \\ c\frac{dv_3}{dt} &= i_3 - i_4 \\ &\text{usw.} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (2)$$

Bricht die Reihe beim $n$ten Gliede (mit v_n) ab, so ist in (2) $i_{n+1} = 0$ zu setzen.

Aus den Gleichungen (1) und (2) gehen für die Potentiale $v_1, v_2, v_3 \ldots$ Differentialgleichungen $n$ter Ordnung hervor, wenn das System n Kondensatoren hat. Z. B. ist

für 1 Kondensator

$$\frac{dv}{dt} + \frac{v}{\alpha c} + \frac{E}{\alpha c},$$

für 2 Kondensatoren

$$\frac{d^2v}{dt^2} + \frac{2\alpha + \beta}{\alpha\beta c}\frac{dv}{dt} + \frac{v}{\alpha\beta c^2} = \frac{E}{\alpha\beta c^2}, \quad \ldots (3)$$

für 3 Kondensatoren

$$\frac{d^3v}{dt^3} + \frac{2\alpha(\beta+\gamma)+\beta\gamma}{\alpha\beta\gamma c}\frac{d^2v}{dt^2} + \frac{3\alpha + 2\beta + \gamma}{\alpha\beta\gamma c^2}\frac{dv}{dt} + \frac{v}{\alpha\beta\gamma c^3} = \frac{E}{\alpha\beta\gamma c^3},$$

welche Gleichungen für **jeden** der n beteiligten Kondensatoren gelten.

Das allgemeine Integral hat für alle Potentiale die Form

$$v = E + Ae^{-\varrho t} + Be^{-\sigma t} + Ce^{-\tau t} + De^{-\varphi t} + \ldots, \quad (4)$$

---

1) Man kann leicht auch die Bedingung einführen, dass die Kapazitäten **verschieden** sind, z. B. c_1, c_2, c_3 usw. In den Gleichungen (3) ist dann c_1 für c, $c_1 c_2$ für c^2, $c_1 c_2 c_3$ für c^3 zu setzen usw.

worin ϱ, σ, $\tau\ldots$ die n (durchweg reellen) Wurzeln der Gleichung $n$ten Grades bedeuten, welche aus der betr. Differentialgleichung $n$ter Ordnung in (3) hervorgeht, und A, B, $C\ldots$ die n Konstanten sind. Die letzteren sind jedoch für jedes v verschieden; sind sie aber für einen Kondensator, z. B. für den letzten, v_n, bestimmt, so lassen sich mittels der Gleichungen (1) und (2) sukzessive auch für alle übrigen i und v die Ausdrücke vollständig angeben. So ist z. B. für $n = 3$

$$i_3 = c\frac{dv_3}{dt}, \qquad v_2 = v_3 + \gamma i_3 = v_3 + \gamma c \frac{dv_3}{dt},$$

$$i_2 = i_3 + c\frac{dv_2}{dt}, \qquad v_1 = v_2 + \beta i_2 = v_3 + (2\beta + \gamma)\, c\frac{dv_3}{dt} + \beta\gamma c^2 \frac{d^2 v_3}{dt^2},$$

also

$$\left.\begin{array}{l} v_3 = E + Ae^{-\varrho t} + Be^{-\sigma t} + Ce^{-\tau t}, \\ v_2 = E + (1-\gamma c\varrho)\, Ae^{-\varrho t} + (1-\gamma c\sigma)\, Be^{-\sigma t} \\ \quad + (1-\gamma c\tau)\, Ce^{-\tau t}, \\ v_1 = E + [1-(2\beta+\gamma)\, c\varrho + \beta\gamma c^2\varrho^2]\, Ae^{-\varrho t} \\ \quad + [1-(2\beta+\gamma)\, c\sigma + \beta\gamma c^2\sigma^2]\, Be^{-\sigma t} + \ldots \end{array}\right\} \quad \ldots (5)$$

Da nun für $t = 0$, $v_1 = v_2 = v_3 = 0$, so ergeben sich folgende Beziehungen, die sich leicht für eine beliebig grosse Reihe fortsetzen lassen:

$$\left.\begin{array}{r} E + A + B + C = 0 \\ \varrho A + \sigma B + \tau C = 0 \\ \varrho^2 A + \sigma^2 B + \tau^2 C = 0 \end{array}\right\} \text{(für 3 Kondensatoren).} \quad \ldots (6)$$

Aus diesen Gleichungen lassen sich leicht die Konstanten A, B, C durch ϱ, σ, τ ausdrücken, worauf aber hier nichts ankommt.

Für uns ist es wichtiger, um die Anfänge der Ladungen zu übersehen, die Ausdrücke in (5) v_3, v_2, v_1 nach Potenzen von t zu entwickeln, indem wir $e^{-\varrho t} = 1 - \varrho t + \frac{1}{2}\varrho^2 t^2 - + \ldots$ usw. setzen. Man sieht dann sofort, wenn man die Gleichungen (5) berücksichtigt, dass

für v_3 die Glieder bis t^2 Null werden,
„ v_2 „ „ „ t „ „

d. h. das erste Glied von v_3 hat den Faktor t^3, das erste Glied von v_2 den Faktor t^2, das erste Glied von v_1 den Faktor t. Dies lässt sich verallgemeinern, d. h. das erste Glied von v_n hat den Faktor t^n.

Hieraus ergibt sich folgendes: 1. auch die entferntesten Kondensatoren beginnen schon beim kleinsten t sich zu laden;

2. sie beginnen jedoch ihre Ladung mit um so kleiner Grössenordnung, je entfernter sie sind, denn für sehr kleine t ist t^n verschwindend klein gegen t^{n-1}, dies verschwindend klein gegen t^{n-2} usf.

Durch mehrmaliges Differentiieren der Gleichungen (5) nach t und Berücksichtigung von (6) lässt sich ferner folgendes nachweisen. Mit Ausnahme von v_1 beginnen alle Ladungen zur Zeit $t = 0$ tangential auf der Abszissenachse, von der sich ihre Kurven um so langsamer ablösen, je entfernter der Kondensator (dies ergibt sich aus der Betrachtung über die initiale Grössenordnung); die Kurven erheben sich Sförmig mit immer späterem Wendepunkt. Der Endwert E wird asymptotisch erreicht. Betreffs der Ladeströme i_1, i_2, i_3.... ergibt sich folgendes: i_1 beginnt mit seinem Maximalwert E/α; die übrigen, welche Null als Anfangs- und als Endwert haben, kulminieren zu einer um so späteren Zeit und mit um so niedrigerem Werte, je grösser ihre Ordnungszahl.

Somit ist die Art, in der sich bei zweiseitiger Zuleitung der stationäre Zustand in einem gegliederten Kapazitätsleiter herstellt, vollständig aufgeklärt.

b) Einseitige Zuleitung.

1. Übergangswiderstand unendlich.

In Fig. 4 werde den Punkten r und s zur Zeit $t = 0$ die Potentialdifferenz E erteilt (eingerechnet die punktierte Nebenschliessung). Das System ist für r und s beiderseits symmetrisch, und beiderseits

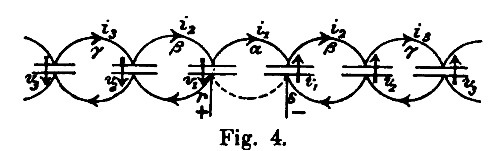


Fig. 4.

sei die Bezeichnung der Potentiale, Widerstände und Ströme wie im vorigen Falle. In den Gleichungen (1) und (2) S. 99 ändert sich dann nur die erste, welche jetzt lautet:

$$\alpha i_1 = E - 2 v_1$$

und die aus (1) und (2) hervorgehenden Differentialgleichungen (3) sind nur wenig von den dortigen verschieden; z. B. wird für zwei Glieder jederseits:

$$\frac{d^2 v}{dt^2} + \frac{2(\alpha + \beta)}{\alpha \beta c} \frac{dv}{dt} + \frac{2}{\alpha \beta c^2} v = \frac{E}{\alpha \beta c^2}.$$

Alle Betrachtungen können so leicht auf den jetzigen Fall übertragen werden, dass eine Ausführung unterbleiben kann. Die Endladung aller Kondensatoren ist aber hier auf der einen Seite $+\frac{1}{2}E$, und auf der anderen $-\frac{1}{2}E$. Der Verlauf der Ladung ist genau wie im vorigen Falle.

2. Übergangswiderstand endlich.

Nehmen wir für jeden Kondensator einen Übergangswiderstand r an, unter Einführung der S. 97 erörterten Beziehung, so wird für jederseits zwei Glieder (natürlich lässt sich die Rechnung leicht auf mehr Glieder ausdehnen):

$$\alpha i_1 = E - 2v_1 \qquad c\frac{dv_1}{dt} + \frac{v_1}{r} = i_1 - i_2,$$

$$\beta i_2 = v_1 - v_2 \qquad c\frac{dv_2}{dt} + \frac{v_2}{r} = i_2.$$

Hieraus folgt für v_2 (nicht gültig für v_1):

$$\frac{d^2 v_2}{dt^2} + \frac{2[\alpha\beta + (\alpha+\beta)r]}{\alpha\beta r c}\frac{dv_2}{dt} + \frac{\alpha\beta + 2(\alpha+\beta+r)r}{\alpha\beta r^2 c^2} v_2 = \frac{E}{\alpha\beta c^2}$$

Es genügt, den Endwert von v_2 zu ermitteln, den wir mit v_2^* bezeichnen wollen. Man findet ihn, indem man in vorstehender Gleichung die von t abhängigen Glieder $= 0$ setzt, und zwar erhält man

$$v_2^* = \frac{r^2}{\alpha\beta + 2(\alpha+\beta+r)r} E.$$

Ferner ist

$$v_1 = v_2 + \beta i_2 = v_2 + \beta\left(c\frac{dv_2}{dt} + \frac{v_2}{r}\right),$$

also

$$v_1^* = \frac{\beta + r}{r} v_2^* = \frac{(\beta+r)r}{\alpha\beta + 2(\alpha+\beta+r)r} E.$$

Für die Endwerte der Stromstärken ergibt sich

$$i_2^* = \frac{r}{\alpha\beta + 2(\alpha+\beta+r)r} E,$$

$$i_1^* = \frac{\beta + 2r}{\alpha\beta + 2(\alpha+\beta+r)r} E.$$

Hieraus folgt also:

1. $v_2^* < v_1^* < \frac{1}{2}E$, während beim idealen[1]) Kapazitätsleiter (siehe oben) $v_2^* = v_1^* = \frac{1}{2}E$ war, was sich auch aus den jetzigen

1) Diese abkürzende Bezeichnung für einen Kapazitätsleiter mit unendlichem Übergangswiderstand ist von Cremer für Kernleiter eingeführt. Zeitschr. f. Biol. Bd. 40 S. 480. 1899.

Gleichungen für $r = \infty$ ergibt. Die Ladungen werden also mit zunehmendem Abstand immer kleiner; die Abnahme ist um so grösser, je grösser die Widerstände α, $\beta\ldots$, und je kleiner der Übergangswiderstand r.

2. Die stationären Ströme i_1^*, $i_2^*\ldots$ sind hier nicht Null wie beim idealen System, und nehmen mit zunehmender Entfernung ab, d. h. es findet eine mit letzterer schwächer werdende stationäre Längsströmung, d. h. Elektrotonus, statt.

Auf die Darstellung der vollständigen Rechnung für v_1, v_2, i_1, i_2 usw. verzichte ich, da sie gegenüber dem idealen System kaum neue Gesichtspunkte bietet. Die Ladung findet in derselben Weise wie dort statt, auch in grösster Entfernung mit entsprechend kleiner Grössenordnung beginnend. Die Ladeströme haben vor ihrem angegebenen Endwert eine Kulmination[1]), und zwar genau zur gleichen Zeit wie im idealen Fall. Z. B. fällt bei zwei Gliedern das Maximum von i_2 beide Male in die Zeit

$$t = \frac{\alpha\beta c}{2\sqrt{\alpha^2+\beta^2}} \log \text{nat} \frac{\alpha+\beta+\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}{\alpha+\beta-\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}.$$

3. Zeitliche Vorgänge und Stationärzustände an kontinuierlichen idealen Kapazitätsleitern.

Ich werde mich auch hier auf die Betrachtung einseitiger Zuleitung beschränken, weil am Nerven nur diese überhaupt möglich ist, und am Kernleiter nur wenige Versuchsreihen mit zweiseitiger Zuleitung existieren[2]).

Die Grundlage der Theorie für kontinuierliche Kapazitätsleiter ist, wie ich schon vor Jahren angeführt habe, eine der Wärmegleichung völlig analoge Differentialgleichung[3]), die ich hier nochmals kurz ableiten will. Vorausgesetzt ist dabei, dass der Kernleiter linear, d. h. so dünn sei, dass jeder Punkt durch eine einzige Koordinate x genügend bestimmt ist. Ist u das in der Richtung von Hülle zu Kern positiv genommene Ladungspotential an der Stelle x zur Zeit t, ferner w' und c' Widerstand und Kapazität der Längen-

1) Dieselbe ist um so später und schwächer, je grösser die Entfernung.

2) Dieses Archiv Bd. 6 S. 315 f. 1872.

3) Vgl. Handbuch Bd. 2 (1) S. 195. 1879; dieses Archiv Bd. 71 S. 277. 1898.

einheit[1]), endlich i die in der Richtung der positiven x positiv genommene Stromstärke im Kern, so wirkt an der Stelle x ladend der Strom di/dx; es ist also

$$\frac{di}{dx} = -c' \frac{du}{dt}.$$

Ferner bewirkt eine Differenz der Ladungen in x und $x + dx$ einen Strom nach der Gleichung

$$w' i = -\frac{du}{dx}.$$

Aus beiden Gleichungen[2]) folgt

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{w'c'} \frac{d^2u}{dx^2},$$

oder wenn $1/w'c' = a^2$ gesetzt wird,

$$\frac{du}{dt} = a^2 \frac{d^2u}{dx^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

Hierbei ist eine völlige Isolation der Kapazitätsfläche, d. h. unendlicher Übergangswiderstand, vorausgesetzt.

Die Integration der Gleichung (1) für die verschiedensten Grenzbedingungen ist ein viel behandelter Gegenstand der Wärme- und der Potentiallehre[3]). Trotzdem wird es nicht überflüssig sein, hier auf zwei Hauptfälle näher einzugehen.

Der erste besteht darin, dass einem einzelnen Punkte momentan ein Potential erteilt wird[4]). Ist zur Zeit $t = 0$ der Potentialzustand längs des als unendlich angesehenen linearen Leiters $u = \Phi(x)$, so wird der Gleichung (1) genügt durch den Ausdruck[5]):

$$u = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi(x + 2\beta a \sqrt{t})\, e^{-\beta^2}\, d\beta \quad . \; . \; . \quad (2)$$

Als eine besonders praktische und der punktförmigen Einwirkung beliebig nahe kommende Form von $\Phi(x)$ wähle ich nun

$$\Phi(x) = U e^{-\lambda x^2}; \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3)$$

---

1) Der Akzent soll daran erinnern, dass w' und c' nicht die gewöhnliche Dimension von Widerstand, resp. Kapazität, haben, sondern durch eine Länge dividiert sind.

2) Die beiden Gleichungen entsprechen genau den Gleichungen (1) S. 99 für das gegliederte System.

3) Vgl. in letzterer Hinsicht Winkelmann, Handb. d. Physik 2. Aufl. Bd. 4 (1) S. 227 f. 1903.

4) Über diesen Fall siehe auch Cremer, a. a. O.

Vgl. H. Weber, Die partiellen Differentialgleichungen. Bd. 2 S. 94.

dies gibt nämlich als momentanen Anfangszustand ein am Punkte $x = 0$ angebrachtes Potential U, welches nach beiden Seiten symmetrisch asymptotisch auf 0 abfällt, und sich um so mehr auf den Nullpunkt allein beschränkt, je grösser man die Konstante λ annimmt. Führt man (3) in (2) ein, so lässt sich die Integration vollständig durchführen, und man erhält das einfache Resultat:

$$u = \frac{U}{\sqrt{1 + 4a^2\lambda t}} \cdot e^{-\frac{\lambda x^2}{1 + 4a^2\lambda t}} \quad . \; . \; . \quad (4)$$

Zunächst zeigt sich auch hier wieder, wenn man (4) nach Potenzen von t entwickelt, dass schon für das kleinste t an den entferntesten Stellen u über seinen Anfangswert hinausgeht. Für $t = \infty$ ist ferner u überall $= 0$, es muss also überall ein Maximum durchlaufen.

Da nun $du/dt = 0$ wird [1]), wenn

$$1 + 4\,a^2\lambda t = 2\,\lambda x^2,$$

so tritt an jeder Stelle das Maximum um so später ein, je grösser das Quadrat ihrer Entfernung. Das Maximum selbst ist

$$u_{max} = \frac{e^{-1/2}}{\sqrt{2\lambda}} \cdot \frac{U}{x},$$

also dem Abstand umgekehrt proportional. Bemerkenswert ist, dass in dieser Gleichung a nicht vorkommt; das Dekrement der ablaufenden Ladung ist also vollkommen unabhängig von $a^2 = 1/w'c'$, d. h. unabhängig von Widerstand und Kapazität.

Um nun weiter das Verhalten der Ladeströme zu übersehen, genügt es, den Wert

$$i = -\frac{1}{w'}\frac{du}{dx} = +\frac{2\lambda x U}{w'(1 + 4a^2\lambda t)^{3/2}}\, e^{-\frac{\lambda x^2}{1 + 4a^2\lambda t}}$$

zu untersuchen, welcher ebenfalls an den entferntesten Punkten sofort beginnt und ein Maximum durchläuft; es wird aber $di/dt = 0$, wenn

$$1 + 4a^2\lambda t = \tfrac{2}{3}\,\lambda x^2,$$

und es ist

$$i_{max} = \sqrt{\frac{27}{2\lambda}}\, e^{-3/2}\,\frac{U}{w'x^2}.$$

Das Maximum der Ladeströme wandert also ebenfalls und in ähnlicher Beziehung zum Quadrate der Längen wie das Potentialmaximum, braucht aber nur etwa $\frac{2}{3}$ der Zeit wie letzteres, und ist

1) Ausserdem wird $du/dt = 0$ für $t = \infty$, d. h. u erreicht schliesslich überall seinen kleinsten Wert, nämlich 0.

nicht den Abständen selbst, sondern ihren Quadraten umgekehrt proportional.

Hoorweg[1]) und namentlich Cremer (a. a. O.) haben mit Recht darauf hingewiesen, dass die über den kabelartigen Leiter ablaufenden örtlichen Maxima der Ladung eine Art Welle darstellen, welche Cremer als „Pseudowelle" bezeichnet, und wollen die von mir mit Samways und von Boruttau beobachteten wellenartigen Erscheinungen am Kernleiter hierauf zurückführen. Ich halte es wegen der Fortpflanzungszeiten dieser Erscheinungen für viel wahrscheinlicher, dass bei ihnen die Selbstinduktion der beteiligten Leiter im Spiele war. Ich muss übrigens hier einen mir untergelaufenen Irrtum berichtigen; ich habe den genannten Autoren mit Unrecht die Ansicht zugeschrieben[2]), dass auch die Erregungswelle des Nerven eine Pseudowelle sei, wie sie in Kabeln vorkommt.

Von ungleich grösserem Interesse, als der Fall der momentanen Einwirkung, ist für uns im Hinblick auf den Elektrotonus der Fall, dass eine Strecke des Leiters permanent von einem konstanten Strom durchflossen wird, der zur Zeit $t = 0$ geschlossen werde. Es muss also ein Integral der Gleichung (1) gesucht werden, welches der Bedingung Genüge leistet, dass für $x = + A$ u beständig $= + U$ und $x = - A$ u beständig $= - U$ ist. Dies Integral ist

$$u = \frac{2\,U}{\sqrt{\pi}} \int\limits_{\frac{x-A}{2a\sqrt{t}}}^{\infty} e^{-\gamma^2}\, d\gamma \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

gültig für den extrapolaren Bereich der positiven Elektrode, mit welcher wir uns begnügen wollen. (Für die negative Seite sind nur Vorzeichen zu wechseln, für den interpolaren Bereich ist eine Summe von zwei Integralen nötig.)

Aus Gleichung (5) folgt (immer nur für den positiven extrapolaren Bereich), dass für $t = \infty$ u überall $= U$ wird, gerade wie in dem entsprechenden Fall des gegliederten Systems (S. 102). Differentiiert man (5) nach t, so findet man, dass in jedem extrapolaren Punkte $du/dt = 0$ wird für $t = 0$ und für $t = \infty$; die Kurve der Ladung löst sich also S förmig aus der Abszissenachse und schliesst sich asym-

---

1) Dieses Archiv Bd. 71 S. 145. 1898.

2) Dieses Archiv Bd. 75 S. 590. 1899.

ptotisch dem Endwert U an. Der Wendepunkt fällt, wie man durch nochmalige Differentiierung findet, indem man $d^2u/dt^2 = 0$ setzt, in die Zeit

$$t = \frac{(x-A)^2}{6\,a^2},$$

schiebt sich also mit dem Quadrate der Entfernung zeitlich hinaus.

Der Ladestrom

$$i = -\frac{1}{w}\frac{du}{dx} = \frac{U}{w\,a\,\sqrt{\pi t}}\,e^{-\frac{(x-A)^2}{4\,a^2 t}}$$

beginnt und endet überall mit 0 und hat ein Maximum zur Zeit

$$t = \frac{(x-A)^2}{2\,a^2},$$

und es ist

$$i_{max} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot e^{-1/2}\,\frac{U}{w\,(x-A)}.$$

Die Fortpflanzungszeit des Maximums des Ladestroms ist also hier wieder wie oben dem Quadrat der Entfernung proportional, das Maximum der Entfernung selbst und nicht ihrem Quadrate (vgl. S. 105) umgekehrt proportional.

4. Zeitliche Vorgänge und Stationärzustand am kontinuierlichen linearen Kapazitätsleiter mit endlichem Übergangswiderstand. Elektrotonus.

Führen wir nun noch einen endlichen Übergangswiderstand ein, so haben wir den Fall des wirklichen Kernleiters und des Elektrotonus. Den Stationärzustand in diesem Fall hat schon 1872 H. Weber für einen zylindrischen Kernleiter unter Einführung des Übergangswiderstandes streng und unter Berücksichtigung der Querdimensionen (vgl. oben S. 103) berechnet[1]. Zur Berechnung der zeitlichen Entwicklung kann jedoch der Übergangswiderstand nur in der oben S. 98 erörterten Weise eingeführt werden. Wir können aber nicht den Übergangswiderstand für die Längeneinheit aufstellen; dies hat für Längswiderstand, Kapazität und Induktionskoëffizient Sinn, weil diese Grössen der Länge proportional sind, aber nicht für den Übergangswiderstand, welcher der Länge umgekehrt proportional sein muss. Wir führen deshalb den

1) Journ. f. Mathematik Bd. 76 S. 1. 1872.

reziproken Wert des Übergangswiderstandes, $s = 1/r$ ein, und nennen s für die Längeneinheit genommen s'[1]). Dann haben wir die Gleichungen (vgl. S. 98):

$$\frac{di}{dx} = -c' \frac{du}{dt} - s' u \qquad \text{und} \qquad w' i = -\frac{du}{dx}.$$

also

$$\frac{du}{dt} + \frac{s'}{c'} u = \frac{1}{w'c'} \frac{d^2 u}{dx^2} \quad \ldots\ldots \quad (6)$$

oder wenn wir $1/w'c'$ wie bisher $= a^2$ und $s'/c' = b$ setzen:

$$\frac{du}{dt} + bu = a^2 \frac{d^2 u}{dx^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (7).$$

Diese von der gewöhnlichen Wärmegleichung verschiedene Gleichung lässt sich für einzelne Fälle streng integrieren. Sie geht nämlich, wenn man eine neue Variable

$$v = ue^{bt} \quad \text{oder} \quad u = ve^{-bt}$$

einsetzt, in die gewöhnliche Form

$$\frac{dv}{dt} = a^2 \frac{d^2 v}{dt^2}$$

über.

Für **momentane Einwirkungen**, d. h. für die Anfangsbedingung $n = \Phi(x)$, braucht man, wie man sieht, dem Integral der Gleichung (2) nur den Faktor e^{-bt} hinzuzufügen, damit es der Gleichung (7) genügt. Ebenso gilt für unsern Fall, wenn wieder $\Phi(x) — e^{-\lambda x^2}$, die Gleichung (4), sobald man **den Faktor** e^{-bt} hinzufügt. Diese so ergänzte Gleichung stellt also die zeitlichen Vorgänge bei endlichem Übergangswiderstand nach einer momentanen punktförmigen Einwirkung völlig streng dar. Dieselben sind prinzipiell übereinstimmend mit denjenigen bei völliger Isolation, aber wegen des Faktors e^{-bt} **sehr viel vergänglicher**, und um so mehr, je geringer der Übergangswiderstand und die Kapazität. Das Maximum von u findet jetzt statt (vgl. S. 105), wenn

$$1 + 4a^2\lambda t = \frac{a\lambda}{b}\left(\sqrt{4b^2x^2 + a^2} - a\right),$$

d. h. **früher**, als bei unendlichem Übergangswiderstand, denn die rechte Seite dieser Gleichung ist $< 2\lambda x^2$.

In dem für uns bei weitem wichtigeren Fall einer **permanenten Einwirkung** ist das Integral der Gleichung (5), wenn wir ihm

1) Die Dimension von s' ist also t/l^2.

den Faktor e^{-bt} hinzufügen, für uns nicht brauchbar, weil dann auch an der Elektrode selbst das Potential rasch abnehmen würde, während es hier konstant $= U$ sein soll. Hier lautet das Integral, wenn wir wieder an der Stelle $x = A$ ein positives Potential $+ U$ beständig unterhalten, für die positive extrapolare Strecke:

$$u = \frac{2\,U e^{-bt}}{\sqrt{\pi}} \int\limits_{\frac{x-A}{2a\sqrt{t}}}^{\infty} e^{b\left(t - \frac{(x-A)^2}{4a^2\gamma^2}\right)}\, e^{-\gamma^2}\, d\gamma \quad . \quad . \quad . \quad (8),$$

welche also *die Etablierung des Elektrotonus* für die genannte Strecke *vollständig und streng ausdrückt.*

Wie man aus der Gleichung erkennt, bleibt u an der Stelle $x = A$, wie verlangt wurde, beständig $= U$. Für $t = 0$ ist u extrapolar überall $= 0$, beginnt aber augenblicklich überall zu steigen, aber mit um so kleinerer Grössenordnung, je entfernter von den Elektroden; es steigt bis zu einem *stationären Endwerte.*

Den letzteren findet man, wenn man in (8) $t = \infty$ setzt, einfacher aber direkt aus der Differentialgleichung (7). Im Stationärzustande ist nämlich $du/dt = 0$, also

$$\frac{d^2 u}{dx^2} = \frac{b}{a^2}\, u = w' s' u.$$

Folglich ist in der extrapolaren Strecke

$$u = U e^{-\sqrt{w' s'}\,(x-A)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

Das elektrotonische Potentialgefälle entspricht also, wie bereits bekannt war[1]), einer Exponentialkurve. Weiter aber zeigt Gleichung (9) den wichtigen Umstand, dass *der Elektrotonus von der Kapazität vollkommen unabhängig ist* (diese Unabhängigkeit erstreckt sich aber, wie (8) zeigt, *nicht* auf den Etablierungsvorgang).

Erst jetzt gewinnen wir volle Klarheit über gewisse Punkte der Theorie des Elektrotonus. Nicht auf die Kapazität, also auf die Polarisationskonstante (reciproker Wert der Kapazität), sondern auf den *Übergangswiderstand* kommt es an. Gleichung (9) ergibt für unendlichen Übergangswiderstand, d. h. $s' = 0$

u überall $= U$, also keinen Elektrotonus,

für Übergangswiderstand 0, d. h. $s = \infty$

u überall $= 0$, also ebenfalls keinen Elektrotonus.

---

1) Vgl. dieses Archiv Bd. 7 S. 319. 1873.

Bei jedem endlichen Übergangswiderstand ist dagegen Elektrotonus vorhanden, und für zwei gegebene Punkte, z. B. in den Entfernungen f und g von der Elektrode in $x = A$, am grössten, wenn

$$\sqrt{\dot{w}\dot{s}} = \frac{1}{g - f} \log \text{nat} \frac{g}{f}.$$

Es ist also nicht die Polarisierbarkeit der Faserkerne an sich, welche den Elektrotonus bedingt, oder wenigstens seine Grösse beeinflusst, sondern der durch die Polarisierbarkeit bedingte Übergangswiderstand, der zur Grösse der ersteren keine direkte Beziehung hat. Ein amalgamierter Zinkdraht in Zinksulfatlösung gibt, weil kein Übergangswiderstand vorhanden ist, keinen Elektrotonus; das Potential am Kern ist überall theoretisch $= 0$ ausser an der Elektrode selbst. Ein idealer Kapazitätsleiter gibt ebenfalls keinen Elektrotonus, weil das Potential überall gleich dem der Elektrode ist.

5. Nicht lineare Kernleiter und mehrfache Kerne.

Die bisherige Voraussetzung (S. 103), dass von den Querdimensionen der Hüllensubstanz abgesehen werden darf, trifft wohl annähernd für eine einzelne Nervenfaser zu, nicht aber für einen ganzen Nerven und auch nicht für die gewöhnlichen Kernleitermodelle, welche aus einem mit Flüssigkeit gefüllten Rohre und einem axialen Metalldraht bestehen. Eine vollständige Theorie für einen solchen Fall durchzuführen, dürfte auf enorme mathematische Schwierigkeiten stossen; dass sie für den Stationärzustand von H. Weber gegeben ist, ist bereits oben erwähnt.

Aber noch weit grössere Schwierigkeiten bietet der Fall des Nerven. Da hier die Hüllensubstanzen ein leitendes Kontinuum bilden, so gleicht der Nerv dem Falle, dass in einem Kernleiterrohre eine sehr grosse Zahl paralleler polarisierbarer Kerndrähte ausgespannt sind. Über die Theorie dieses Falles lässt sich zunächst durchaus nichts angeben. Zwar lassen sich die Verhältnisse eines Systemes parallel geschalteter Kapazitätsleiter vollkommen übersehen und sind durch Versuche geprüft (siehe Abschnitt C); aber dies nützt uns nichts, da wir im Nerven nicht parallel geschaltete isolierte Kernleiter vor uns haben.

6. Induktive Kapazitäts- und Kernleiter.

Wie ich vor sechs Jahren gezeigt habe[1]), führt das polare Erregungsgesetz in Verbindung mit dem Gesetz der Aktionsströme zu einem Verhalten des Nerven gegen durchgeleitete Ströme, welches prinzipiell so ist, als wenn der Nerv, resp. der Faserkern, mit Selbstinduktion begabt wäre. Später habe ich dargetan[2]), dass man ein System dieser Art sich künstlich herstellen kann; man kann z. B. den Draht eines Kernleiters, da er nicht kontinuierlich von der Flüssigkeit benetzt zu sein braucht, in gewissen Abständen aus dem Rohr herausleiten und aussen je eine Induktionsspule einschalten[3]), und kann endlich die noch übrig bleibenden polarisierbaren Strecken durch Kapillarelektrometer oder Kondensatoren ersetzen[4]). Auf diese Weise gelangte ich vom kontinuierlichen induktiven Kernleiter zu einem gegliederten. Die Theorie lässt sich jedoch für den ersteren vollkommener durchführen.

a) Kontinuierliche induktive Kapazitätsleiter.

1. Übergangswiderstand unendlich.

Die für diesen Fall gültige Differentialgleichung will ich hier noch etwas übersichtlicher ableiten, als es in Bd. 75 geschehen ist. Unter den S. 103 formulierten Voraussetzungen hat man, wenn ausserdem q' der Selbstinduktionskoeffizient der Längeneinheit,

$$c'\frac{du}{dt} = -\frac{di}{dx} \quad . \quad . \quad (1) \quad \text{und} \quad w'i + q'\frac{di}{dt} = -\frac{du}{dx}, \quad . \quad (2)$$

woraus folgt

$$\frac{d^2u}{dt^2} + \frac{w'}{q'}\frac{du}{dt} = \frac{1}{q'c'}\frac{d^2u}{dx^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3).$$

Auch das Integral der Gleichung (3) lässt sich etwas übersichtlicher darstellen, als es a. a. O. geschehen ist. Führt man statt der Zeiten t die von der Welle zurückgelegten Strecken y ein, d. h. setzt man $t = \sqrt{q'c'} \cdot y$, und führt man ferner die Abkürzung ein

$$\lambda = \frac{w'}{2}\sqrt{\frac{c'}{q'}},$$

1) Dieses Archiv Bd. 75 S. 474. 1899.

2) Annalen d. Physik (4) Bd. 12 S. 932. 1903.

3) Vgl. Fig. 4 und 5 der letzterwähnten Arbeit.

4) Vgl. Fig. 6 und 7 der Arbeit.

so ist, wenn im Anfang

$$u = f(x) \quad \text{und} \quad \frac{du}{dt} = \sqrt{cq}\, \frac{d\psi(x)}{dx},$$

$$u = \tfrac{1}{2} e^{-\lambda y} \Big\{ f(x-y) + f(x+y) - \psi(x-y) + \psi(x+y) + \lambda^2 \int_{x-y}^{x+y} K(z)[(\alpha - x)\psi(\alpha) + y f(\alpha)]\, d\alpha \Big\}^{1)} \quad . \; . \; . \quad (4)$$

worin

$$z = \lambda \sqrt{y^2 - (\alpha - x)^2} \quad \text{und} \quad K(z) = \frac{1}{2} + \frac{z^2}{2\cdot 2\cdot 4} + \frac{z^4}{2\cdot 2\cdot 4\cdot 4\cdot 6} + \ldots$$

Gleichung (4) geht von dem momentanen Zustand zur Zeit 0 aus, welcher z. B. wie S. 104f. in einem auf die Umgebung des Nullpunktes beschränkten Potential $f(x) = Ue^{-\lambda x^2}$ bestehen könnte. Dieses Potential läuft dann in Form einer beständig abnehmenden Welle mit der Geschwindigkeit $1/\sqrt{cq}$ über den Leiter nach beiden Richtungen ab und hinterlässt überall ein allmählich schwindendes Residuum. Dies ist schon in der früheren Arbeit erörtert, daselbst aber unerwähnt geblieben, dass unabhängig von der Welle schon nach der kürzesten Zeit an allen Stellen eine gewisse Veränderung da ist, denn das Integralglied der Gleichung (4) ist schon für das kleinste y, d. h. für das kleinste t, > 0. Insofern hat also Gleichung (4) noch die Eigenschaften der Wärmegleichung, in die sie für $q = 0$ übergeht. Auf diese wärmeartige Ausbreitung superponiert sich die mit endlicher Geschwindigkeit fortschreitende gedämpfte Welle; den Vorgang vollständig aus der Gleichung zu erfassen, ist nicht leicht.

Der Fall der Schliessung oder Öffnung eines konstanten Stromes, welcher einer Strecke zugeleitet wird, lässt sich mittels des Integrals Gleichung (4) nicht erledigen. Hier müsste statt der Anfangsbedingung $u = f(x)$ ähnlich wie oben S. 106 als Grenzbedingung eingeführt werden, dass an irgendeiner Stelle u beständig einen bestimmten Wert, z. B. U haben soll. Solange keine Integration mit dieser Einführung vorliegt, muss man sich mit der Anschauung behelfen, welche übrigens durch die Versuche völlig bestätigt wird. Bei der Schliessung muss der stationäre Endzustand, wie ohne In-

---

1) In der früheren Arbeit war in diesem Integral durch einen Schreibfehler das Vorzeichen des dritten Gliedes in der Klammer + statt — gesetzt, wie Cremer (a. a. O.) richtig bemerkt. Die weitere Bemerkung jedoch, dass auch sonst die Gleichung nicht ganz genau sei, ist ein Irrtum.

duktion, darin bestehen, dass u überall $= U$ ist. Dieser Endzustand wird aber um so später erreicht, je entfernter die Stelle; die Potentialkurve muss also an entfernteren Stellen weniger steil ansteigen und einen mehr Sförmigen Anfang haben. Das Entsprechende muss sich auch bei der Öffnung eines konstanten Stromes an den Kurven zeigen, in welchen das Potential auf 0 absinkt.

2. Übergangswiderstand endlich.

Um auch diesen Fall zu untersuchen, welcher meiner Vorstellung von den Verhältnissen am Nerven am nächsten kommt, muss man wieder, wie oben S. 108, statt der vorstehenden Gleichung (1) setzen,

$$\acute{c}\,\frac{du}{dt} + \acute{s}\,u = -\,\frac{di}{dx},$$

und erhält dann statt der Gleichung (3):

$$\frac{d^2u}{dt^2} + \frac{\acute{w}\acute{c} + \acute{s}q}{q\acute{c}}\,\frac{du}{dt} + \frac{\acute{w}\acute{s}}{q\acute{c}}\,u = \frac{1}{q\acute{c}}\,\frac{d^2u}{dx^2} \quad . \quad . \quad (5)$$

welche Gleichung für unendlichen Übergangswiderstand, d. h. $\acute{s} = 0$, in die Gleichung (3) übergeht.

Leider ist die Integration dieser Gleichung ungemein schwierig und das Resultat wahrscheinlich ungemein verwickelt und noch weit schwerer anschaulich zu übersehen als das in (4) ausgedrückte. Bis von mathematischer Seite eine Integration durchgeführt ist, muss man daher darauf verzichten, die zeitlichen Vorgänge in einem solchen Leiter zu übersehen. Dies ist besonders deshalb beklagenswert, weil grade das Verhältnis der Etablierung des Elektrotonus zur Ausbreitung der Welle dadurch unbekannt bleibt. Denn dass der stationäre Endzustand hier den Elektrotonus darstellt, ist selbstverständlich, da die Induktion auf den Endzustand keinen Einfluss haben kann. Auch kann man den Endzustand direkt aus Gleichung (5) entnehmen, indem man wieder die Zeitglieder $= 0$ setzt; man erhält dann dasselbe Resultat wie in Gleichung (9) S. 109. Sicher kann man sagen, dass der Elektrotonus überall sofort beginnt und dass die Wellengeschwindigkeit vom Übergangswiderstand unabhängig ist.

b) Gegliederte induktive Kapazitätsleiter.

Wie oben S. 111 gesagt, habe ich an solchen Systemen Versuche angestellt (s. unten), und Fig. 5 stellt das Schema eines derartigen Systems dar. Auf der einen Seite, welche hierdurch zur Kernseite wird, sind je zwei Kondensatoren oder Kapillarelektrometer durch

eine Induktionsspule vom Koeffizienten q verbunden. Das System kann wieder zweiseitig, z. B. von A und C aus, oder einseitig, z. B. von C und D aus, beansprucht werden. Wir wollen uns auf den ersteren Fall beschränken.

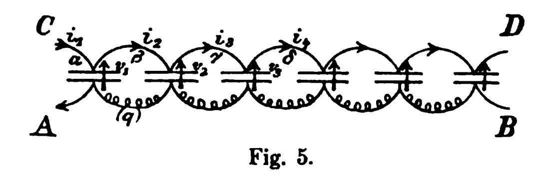


Fig. 5.

Wird den Punkten A, C zur Zeit $t = 0$ die Potentialdifferenz E erteilt, und ist q der Selbstinduktionskoeffizient jeder Spirale, während im übrigen dieselben Bezeichnungen wie S. 99 gelten, so haben wir folgende Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned} \alpha i_1 + q\frac{di_1}{dt} &= E - v_1 \\ \beta i_2 + q\frac{di_2}{dt} &= v_1 - v_2 \\ \gamma i_3 + q\frac{di_3}{dt} &= v_2 - v_3 \\ &\text{usw.} \end{aligned}\right\} (1) \qquad \left.\begin{aligned} c\frac{dv_1}{dt} &= i_1 - i_2 \\ c\frac{dv_2}{dt} &= i_2 - i_3 \\ c\frac{dv_3}{dt} &= i_3 - i_4 \\ &\text{usw.} \end{aligned}\right\} (2)$$

Die aus diesen Gleichungen hervorgehende Differentialgleichung ist bei n Gliedern von der Ordnung $2n$, während sie ohne Induktion nur $n$ter Ordnung war. Das allgemeine Integral lässt sich wiederum unter der Form der Gleichung (4) S. 99 darstellen, nur können hier die Koeffizienten ϱ, σ, τ ... auch komplexe Grössen sein, d. h. das Integral gedämpfte Schwingungen enthalten.

Eine ganz ähnliche Betrachtung wie die S. 100 ausgeführte führt weiter zu dem Ergebnis, dass bei Entwicklung nach Potenzen von t das erste Glied von v_1 den Faktor t^2, das erste Glied von v_2 den Faktor t^4 hat usw.[1]), d. h. dass auch hier die Ladung selbst im entferntesten Gliede sofort beginnt, dass aber die Grössenordnung

1) Die ersten Glieder der Potenzenreihe sind:

für v_1: $\frac{E}{qc}\,\frac{t^2}{2}$	für i_1: $\frac{E}{q}t$
„ v_2: $\frac{E}{q^2c^2}\,\frac{t^4}{2\cdot3\cdot4}$	„ i_2: $\frac{E}{q^2c}\,\frac{t^3}{2\cdot3}$
„ v_3: $\frac{E}{q^3c^3}\,\frac{t^6}{2\cdot3\cdot4\cdot5\cdot6}$	„ i_3: $\frac{E}{q^3c^2}\,\frac{t^5}{2\cdot3\cdot4\cdot5}$
usw.	usw.

der ersten Ladung in weit höherem Masse als ohne Induktion von Glied zu Glied abnimmt.

Insofern ist also nur ein gradueller, aber kein prinzipieller Unterschied gegen das Verhalten ohne Induktion. Mit anderen Worten: das so Abgeleitete entspricht demjenigen Verhalten, welches für den kontinuierlichen induktiven Leiter durch das Integralglied in Gleichung (4) S. 112 ausgedrückt ist.

In den Differentialgleichungen $n$ter Ordnung muss aber noch der andere Vorgang begründet sein, den das kontinuierliche System zeigt, nämlich ein wellenartiges Vorrücken mit Dämpfung und mit einem bestimmten Zeitverbrauch für jedes Glied. Dieser Zeitverbrauch muss $= \sqrt{qc}$ sein, wenn q und c, statt wie beim kontinuierlichen Leiter für die Längeneinheit, für jedes Glied gelten. Dass dieser Schluss richtig ist, haben die Versuche ergeben (siehe unten B). Ihn mathematisch zu begründen, ist mir indessen noch nicht gelungen.

Haben die Kapazitäten endlichen Übergangswiderstand, so ist der stationäre Endzustand wiederum derselbe Elektrotonus wie ohne Induktion (S. 107 f.). Seine Entwicklung beginnt überall wie dort sofort, auf die Entwicklung superponiert sich aber die gedämpfte Welle, deren zeitliche Verhältnisse durch den Übergangswiderstand in nicht zu übersehender Weise modifiziert sind.

7. Zusammenstellung der theoretischen Ergebnisse.

a) Ohne Induktion.

1. Bei zweiseitiger Zuleitung eines Stromes zu einem Ende eines gegliederten Systems mit unendlichem Übergangswiderstand laden sich alle Kondensatoren schliesslich auf gleiches Potential. Die Ladung beginnt überall sofort, aber mit um so kleinerer Grössenordnung, je entfernter das Glied. Die Ladeströme zwischen je zwei Gliedern kulminieren um so später und schwächer, je entfernter, und sind schliesslich $= 0$.

2. Bei einseitiger Zuleitung und unendlichem Übergangswiderstand laden sich alle Kondensatoren einer extrapolaren Seite gleich hoch und auf beiden Seiten in entgegengesetztem Sinne[1]). Bezüglich des Beginns der initialen Grössenordnung und des Verhaltens der Ladeströme gelten dieselben Sätze wie im vorigen Falle.

1) Über das Verhalten der interpolaren Strecke, wenn dieselbe mehrere Glieder umfasst, siehe Annalen d. Physik Bd. 17 S. 505 f. 1905.

3. Bei endlichem Übergangswiderstand und einseitiger Beanspruchung entstehen in beiden extrapolaren Strecken entgegengesetzte Ladungen, deren Grösse aber mit zunehmender Entfernung abnimmt. Die Längsströme kulminieren zu derselben Zeit wie im vorigen Falle, sinken aber nicht auf Null, sondern auf einen stationär bleibenden Betrag — Elektrotonus —, der mit zunehmender Entfernung abnimmt und von den Widerständen abhängt.

4. Bei einseitiger Zuleitung zu einem kontinuierlichen linearen System mit unendlichem Übergangswiderstand (linearer idealer Kernleiter) breitet sich ein einem Punkte momentan erteiltes Potential in Form einer vorübergehenden und mit zunehmender Entfernung rasch kleiner werdenden Ladung über den ganzen Leiter aus. Die Ladungen beginnen überall sofort, aber mit räumlich rasch abnehmender Grössenordnung. Die Kulmination dieser schnell verschwindenden Ladung tritt um so später ein, je grösser das Quadrat der Entfernung; das Maximum selbst ist der Entfernung umgekehrt proportional. Auch die Längsströme, welche ähnlichen Gesetzen folgen, verschwinden rasch.

Ein konstanter Strom bewirkt in jeder extrapolaren Strecke[1]) eine Ladung aller Punkte auf das Potential der Elektrode; auch hier beginnt die Ladung überall sofort. Die extrapolaren Längsströme sind auch hier vergänglich und erreichen ihr (der Entfernung umgekehrt proportionales) Maximum um so später, je grösser das Quadrat der Entfernung. Bleibende Längsströme (Elektrotonus) sind nicht vorhanden.

5. Bei einseitiger Zuleitung zu einem kontinuierlichen linearen Kernleiter mit endlichem Übergangswiderstand sind die Vorgänge bei momentaner Einwirkung so wie mit unendlichem, nur alles schneller und vergänglicher. Bei konstantem Strome entsteht eine mit zunehmender Entfernung steil abnehmende stationäre Ladung (Elektrotonus), welche überall sofort beginnt, und eine entsprechende stationäre Strömung. Das Ladungsgefälle ist von der Kapazität unabhängig.

b) Mit Induktion.

6. Ist die eine Seite (oder beide) eines Kapazitäts- oder Kernleiters mit Selbstinduktion begabt, so superponiert sich auf eine

1) Über den Stationärzustand der interpolaren Strecke siehe ebenfalls meine zitierte Arbeit.

überall sogleich beginnende Einwirkung eine mit endlicher Geschwindigkeit ablaufende Welle. Die Geschwindigkeit ist umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus der Kapazität und dem Selbstinduktionskoeffizienten der Längeneinheit. Der Endzustand ist derselbe, wie wenn die Selbstinduktion nicht vorhanden wäre, also den vorhergehenden Sätzen zu entnehmen. Bei vorübergehenden Einwirkungen ist also das Endpotential überall Null. Ferner ergibt sich für die Fortpflanzung ein Dekrement der Welle, welches proportional ist dem Widerstand und der Quadratwurzel der Kapazität und umgekehrt proportional der Wurzel des Induktionskoeffizienten. Ferner entsteht an jeder Stelle ein erst allmählich schwindendes Residuum.

B. Versuche über die Vorgänge an gegliederten Systemen.

An kontinuierlichen Kernleitern habe ich hier keine neuen Versuche mitzuteilen. Bezüglich des stationären Zustandes im Kernleiter muss daher auf die Versuche Matteucci's an feucht umhüllten Metalldrähten und auf meine Versuche von 1872 an Drähten in Röhren mit Elektrolyten, sowie auf diejenigen von Boruttau an ähnlichen Objekten verwiesen werden. Diese Versuche haben bekanntlich dasjenige ergeben, was nach der Theorie (siehe oben S. 107f.) zu erwarten war. — Über die zeitlichen Vorgänge in Kernleitern existieren meines Wissens bisher nur die Versuche von mir mit Samways und von Boruttau, welche noch in vielen Punkten der Aufklärung bedürfen. Indessen bietet die sehr schwer zu übersehende und durch viele Umstände beeinflusste Polarisation an Metallen, wie ich immer wieder bei jedem Verfahren zur Vervollkommnung gefunden habe, für wirklich exakte Versuche mit regelmässigen Resultaten vorläufig unüberwindliche Schwierigkeiten, so dass ich mich auf Versuche an gegliederten Systemen mit Kapillarelektrometern und vollkommner mit Kondensatoren beschränken musste.

Mit solchen Versuchen bin ich seit mehr als zwei Jahren unablässig beschäftigt. Manche auf den ersten Blick überraschende Ergebnisse wurden gewonnen, ehe ich die im Vorstehenden erörterte Theorie durchgeführt hatte, und haben in derselben ihre befriedigende Erklärung gefunden.

Zunächst ist der stationäre Elektrotonus an Systemen nach Art des Schemas Fig. 3 oder 4 viel regelmässiger als am feuchten Kernleiter. Schon als die Kondensatoren durch Ostwald'sche Kapillarelektrometer ersetzt waren, konnte der (hier wegen des endlichen Übergangswiderstands ziemlich erhebliche) Elektrotonus an den Ablenkungen der Elektrometer selbst sehr gut nachgewiesen werden[1]; zugleich zeigte sich das Gefälle der Ladungen, wie es die Theorie verlangt (siehe oben S. 99), um so grösser, je grösser die Widerstände (a. a. O. S. 940 f.).

Als später Papierkondensatoren verwendet wurden, deren Übergangswiderstand zwar sehr gross, aber nicht unendlich ist, zeigte sich, wie zu erwarten war, ein sehr schwacher, aber ungemein regelmässiger Elektrotonus, der mit dem Galvanometer festgestellt wurde. Die Seite CD (Fig. 5) bestand aus kurzen Drahtverbindungen, die Seite AB enthielt zwischen je zweien der 15 Kondensatoren je eine induktionsfreie Rolle von 200 Ohm. Werden nun den unteren Belegungen der beiden ersten Kondensatoren die Pole einer Akkumulatorkette angelegt, und die Galvanometerenden sukzessive an die unteren Belegungen je eines folgenden Paares, so erhält man eine sehr genau einer Exponentialkurve entsprechende Reihe stationärer elektrotonischer Ablenkungen[2]. Bei nur 2 Volt sind, offenbar wegen des sehr grossen Übergangswiderstandes, die stationären Ablenkungen, besonders der entfernteren Glieder, nicht mehr deutlich. Bei Glimmerkondensatoren fehlen sie vollständig.

Bei allen diesen Versuchen sieht man nun im Augenblick der Schliessung des zugeleiteten Stromes eine starke Ablenkung im Sinne des Elektrotonus, welche sogleich wieder bis auf den eben erörterten stationären Rest zurückgeht; bei der Öffnung entsteht eine genau ebenso grosse Ablenkung im entgegengesetzten Sinne. Auch diese Ablenkungen nehmen von Glied zu Glied nach einer Exponentialkurve ab; zu ihrer Darstellung genügten unter den angeführten Umständen 2 Volt; auch am letzten Gliede des 15gliedrigen Systems betrugen sie noch einige Skalenteile. Diese Ablenkungen sind offenbar die in den Galvanometerbogen übergehenden Zweige des vorübergehenden Lade- resp. Entladestromes.

Zum genaueren Studium der zeitlichen Vorgänge habe ich zwei verschiedene Methoden verwendet.

1) Annalen d. Physik (4) Bd. 12 S. 940. 1903.

2) Ähnliche Beobachtungen sind schon a. a. O. S. 941 angedeutet.

Bei der ersten wurde ein registrierendes Kapillarelektrometer abwechselnd mit dem ersten und mit dem letzten Gliede des 15gliedrigen Systems verbunden und beide Male die Exkursion des Meniskus photographisch auf derselben Glasplatte verzeichnet, gleichzeitig auch die Schwingungen einer Stimmgabel von 100 Schwingungen per Sekunde. Der Moment der Einwirkung war für beide Versuche auf der Glasplatte genau identisch (siehe auch die unten folgenden Kurvenbeispiele). Das Nähere über das Verfahren siehe in der betreffenden Veröffentlichung[1]). Diese Methode wurde hauptsächlich für Versuche mit zweiseitiger Zu- und Ableitung verwendet.

Die zweite Methode war eine rheotomische und wurde mittels des Helmholtz'schen Pendels ausgeführt[2]), von welchem zwei von Edelmann konstruierte Exemplare zur Verwendung kamen, das eine mit zwei, das andere mit vier Kontakten, welche nach Belieben zu Schliessungen oder Öffnungen benutzt werden konnten. Das Pendel vollzog in einem gegebenen Moment eine elektrische Einwirkung auf das erste Glied des Systems und verband nach einem Intervall, welches mittels mikrometrischer Schlittenverschiebung variiert wurde, das letzte Glied mit einem höchst empfindlichen Drehspulengalvanometer. Eine Umdrehung der Mikrometerschrauben entsprach bei dem einen Pendel einer Zeitverschiebung von $^1/_{6000}$ sek[2]), bei dem anderen $^1/_{4636}$ sek. Es konnten noch Hundertstel einer Umdrehung abgelesen werden. Die äusserste herstellbare Intervalllänge betrug etwa 100 Umdrehungen, der Spielraum der Intervalle also $^1/_{60}$, resp. $^1/_{46}$ Sekunde. Durch eine Stange mit verschiebbarem Gewicht kann übrigens die Schwingungsdauer beträchtlich verlängert, der Versuchsspielraum also vergrössert werden.

In jedem Versuch wurden auf Kurvenpapier die Intervalle als Abszissen, die beobachteten Ablenkungen als zugehörige Ordinaten aufgetragen, und so Kurven gewonnen, welche die zeitliche Entwicklung der Wirkung auf das letzte Glied darstellen.

Für vielgliedrige Systeme war ich leider auf Papierkondensatoren angewiesen, welche ausser dem nicht unendlichen Isolationswiderstande die üble Eigenschaft haben, dass jeder Kondensator nach Art eines galvanischen Elementes eine elektromotorische Kraft (Rückstand?)

---

1) Annalen d. Physik (4) Bd. 12 S. 932. 1903.

2) Vgl. Gildemeister und Weiss, dieses Archiv Bd. 94 S. 519. 1903, und Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1905, Juni, S. 175.

besitzt, welche noch dazu höchst unbeständig in ihrer Grösse ist. Dieser Umstand verbot alle Versuche mit zweiseitiger Zu- und Ableitung (für die Versuche der anderen Methode mit dem Kapillarelektrometer verursacht er keine Störung), so dass ich mich auf Versuche mit einseitiger Zu- und Ableitung beschränken musste. Ein Teil der Versuche wurde jedoch an einem System von sechs Glimmerkondensatoren auch mit zweiseitiger Beanspruchung ausgeführt, und zwar wurde hier die zeitliche Entwicklung der Ladung des letzten Kondensators folgendermassen festgestellt. Nach Ablauf des Intervalls trennte ein Öffnungskontakt des vierkontaktigen Pendels den letzten Kondensator vom System ab, und unmittelbar darauf schloss ein Schliesskontakt des Pendels die Verbindung der beiden Belegungen mit dem Galvanometer, so dass die Ablenkung die im letzten Kondensator zur Zeit der Abtrennung vorhandene Elektrizitätsmenge angab.

Die Einwirkungen bestanden teils in Schliessungen oder Öffnungen konstanter Ströme, teils in Momentanströmen, z. B. einzelnen Induktionsströmen oder Entladungen eines Kondensators. Bei der Pendelmethode wurde eine Reihe von Versuchen auch mit oszillierenden Entladungen ausgeführt, indem diesem Kondensator eine geeignete Induktionsrolle parallel geschaltet war.

Das Hauptziel aller Versuche war, bei jeder Einwirkung die Zeit zu bestimmen, nach welcher die erste Veränderung im letzten Gliede nachweisbar war, sei es als Ladung des letzten Kondensators, sei es als Strom zwischen dem vorletzten und letzten Gliede. Diese Zeit ist theoretisch, sobald keine Induktion im Spiele ist, unendlich klein. Da aber die ersten auftretenden Wirkungen nach der Theorie ebenfalls unendlich klein sind, so ist erst nach einer gewissen endlichen Zeit eine nachweisbare Wirkung zu erwarten, und diese Zeit muss von der Empfindlichkeit der benutzten Vorrichtung abhängen, und ferner von der verwendeten Spannung und von den Widerständen des Systems. In meinen Galvanometerversuchen an induktionsfreien Systemen war das kürzeste Intervall für das Auftreten deutlicher Ablenkungen (Widerstände je 200 Ohm):

am letzten Gliede von 6 Glimmerkondensatoren von je 1 Mikrof.:

2 seitige Zuleitung:	Spannung 2 Volt	$2\frac{1}{2}$ Umdrehungen	= 0,0004	sek
	„ 110 „	$1\frac{1}{2}$ „	= 0,00025	„
1 seitige Zuleitung:	„ 2 „	3 „	= 0,0005	„
	„ 110 „	2 „	= 0,00033	„

am letzten Gliede von 15 Papierkondensatoren von je 1 Mikrof.:
1 seitige Zuleitung: Spannung 2 Volt nichts nachweisbar,
„ 110 „ 6 Umdrehungen = 0,001 sek.
Bei kleinen Widerständen oder hohen Spannungen steigt die Kurve viel steiler an als sonst, und der sonst deutlich Sförmige Anstieg zeigt diesen Charakter nicht mehr deutlich. Bei 2seitiger Zuleitung sieht man noch im Versuchsbereich ($^1/_{60}$ sek) auch den Beginn des absinkenden Teiles des Ladestroms.

In den Versuchen mit Induktion war auf der einen Seite (*AB*, Fig. 5) zwischen je zwei Gliedern eine Induktionsspule geschaltet, auf der anderen (*CD*) entweder kurze Drähte oder die oben erwähnten induktionsfreien Widerstandsrollen von je 200 Ω. Die Induktionsspulen hatten je 250 Ω Widerstand, und ihr Induktionskoeffizient betrug ohne Kern ca. $2 \cdot 10^8$ cm, mit eingestecktem Drahtkern ca. $2 \cdot 10^9$ cm. In Versuchen, welche ich mit Gildemeister an einem nur sechs Glieder umfassenden System von Glimmerkondensatoren ausgeführt habe, wurden auch weit stärkere Induktionsspulen (ohne Kern bis zu $2 \cdot 10^9$ cm) verwendet[1]).

Stets zeigte sich bei diesen Versuchen auf das schönste die endliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Vorganges, sobald Kapazität und Induktion im Spiele sind. Indem ich auf das reichere Material

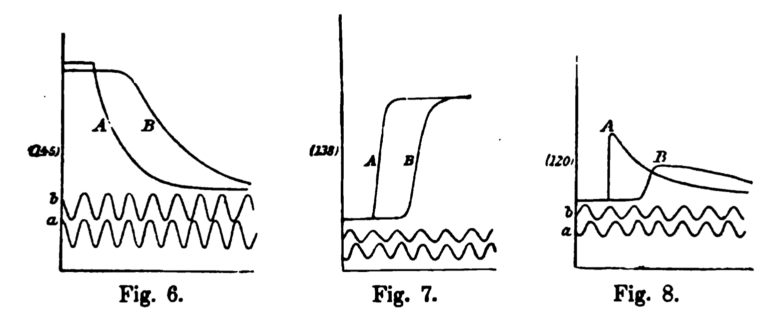


Fig. 6. Fig. 7. Fig. 8.

in der betreffenden Arbeit verweise, reproduziere ich hier nur die drei Beispiele Fig. 6, 7 und 8, welche an einem System von 15 Papierkondensatoren von je 1 Mikrof. und 15 Induktionsspulen der oben erwähnten Art mit Kernen ($q = 2 \cdot 10^9$ cm) gewonnen sind. Überall ist *A* die Elektrometerkurve vom Anfang, *B* die vom Ende des Systems, *a* und *b* sind die Zeitkurven ($^1/_{100}$ sek),

1) Annalen d. Physik (4) Bd. 14 S. 1031.

a ist gleichzeitig mit *A*, *b* mit *B* geschrieben. Fig. 6 stellt den Vorgang bei Öffnung, 7 bei Schliessung eines konstanten Stromes von 1 Volt[1]), 8 bei Entladung eines Kondensators ($^8/_9$ Volt, 1 Mikrof.) dar. Man erkennt deutlich die Zeitdifferenz für den Beginn des Vorgangs in *A* und *B*. Bei *B* beginnt ferner die Kurve stets Sförmig und weniger steil; in Fig. 8 beginnt der Vorgang hinten erst lange nachdem er vorn seine Kulmination überschritten hat.

In den Kurven Fig. 9, 10, 11 ist unter sonst identischen Umständen der Induktionskoeffizient der Spulen durch Herausziehen der Eisenkerne auf $^1/_{10}$ (ca. $2 \cdot 10^8$ cm) herabgesetzt. Wie man sieht, sind die Zeitintervalle zwischen dem Beginn vorn und hinten beträchtlich verringert.

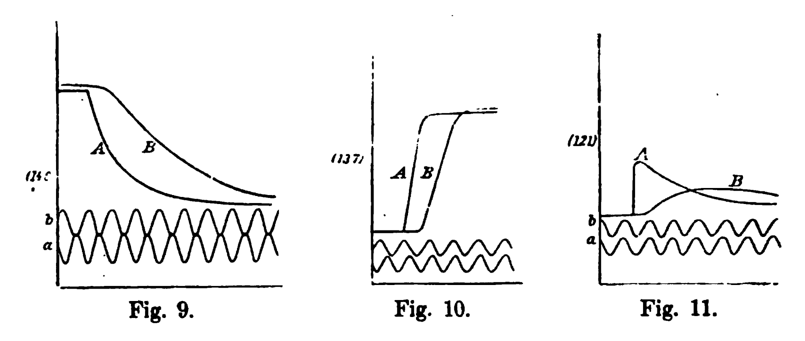


Fig. 9. Fig. 10. Fig. 11.

In Fig. 12 (Kondensatorenladung $^8/_9$ Volt, 1 Mikrof.) sind die Induktionsspulen ganz beseitigt; die Kurven *A* und *B* decken sich vollständig. Ebenso ist es in Fig. 13, wo zwar die Induktionsspulen mit Kernen vorhanden, aber die Kapazitäten ausgeschaltet waren.

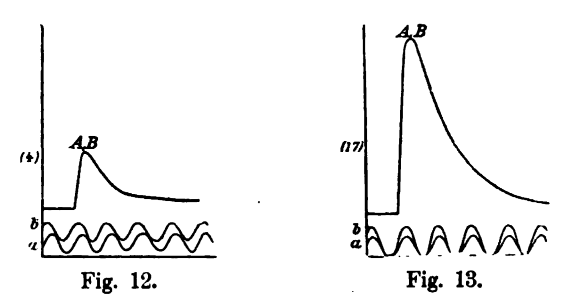


Fig. 12. Fig. 13.

Die mit dem Ablauf der Welle verbundene Dämpfung (Dekrement) kann sich bei Schliessungen und Öffnungen konstanter Ströme

1) Das für momentane Schliessung angewandte Verfahren siehe a. a. O.

nur in dem Sförmigen Beginn und dem weniger steilen Verlauf der Kurve *B* zeigen (siehe oben S. 113). Bei den Kondensatorentladungen (Fig. 8 und 11) zeigt sich das Dekrement ausserdem besonders deutlich in der geringeren Höhe der *B*-Kurve.

Ganz dieselben Ergebnisse hatte auch die zweite Methode (Pendel mit Galvanometer), welche natürlich nur die Kurve am Ende des Systems (*B*) und ihre zeitliche Beziehung zum Momente der Einwirkung zum Gegenstande hat. In letzterer Hinsicht ist sie weit vollkommener als die erste, weil der Ablösungspunkt der Sförmig beginnenden *B*-Kurven des Elektrometers weniger sicher festzustellen ist als die Stellung des Schlittenmikrometers, bei welcher die erste Galvanometerwirkung eintritt.

Am kontinuierlichen induktiven Kernleiter ist nach der Theorie die Zeit, in welcher die Welle die Längeneinheit zurücklegt, $= \sqrt{\acute{c}\acute{q}}$, wenn $\acute{c}$ und $\acute{q}$ die Kapazität und den Induktionskoeffizienten der Längeneinheit bedeuten. Wie S. 115 angedeutet, nahm ich nun an, dass am gegliederten System ebenso die Zeit pro Glied $= \sqrt{cq}$ sein würde, wenn c und q die betreffenden Grössen pro Glied. In der Tat stimmen hiermit die gefundenen Zeiten der Grössenordnung nach befriedigend überein, waren jedoch durchgehends kleiner. Mit der Vervollkommnung der Versuche, besonders durch Verwendung von Glimmerkondensatoren und von kernlosen Spulen, wurden die Abweichungen immer kleiner, und in meinen letzten Versuchen mit Pendel und Galvanometer betrugen sie nur noch 4 %. Es lässt sich nicht übersehen, ob diese Abweichung durch Ungenauigkeit der verwendeten Formel oder durch andere Umstände bedingt ist.

Von der Stärke der Einwirkung ist nach der Theorie die Geschwindigkeit der Welle unabhängig. In den Versuchen, und zwar bei beiden Methoden, zeigte sich jedoch eine deutliche, wenn auch nicht sehr erhebliche Beschleunigung durch sehr hohe Potentialdifferenzen.

In der letzten Versuchsreihe habe ich dem System auch oszillatorische Kondensatorentladungen zugeführt, deren Periode durch Pendelversuche genau festgestellt war. Am System zeigte sich, dass schon wenige Glieder genügen, die Oszillationen vollständig zu amortisieren, was leicht begreiflich ist, da jedes dämpfende System diese Eigenschaft hat.

Leider kann ich über die Etablierung des Elektrotonus im induktiven System nichts Experimentelles beibringen, weil die zu

den Zeitversuchen verwendeten Systeme so grossen Übergangswiderstand hatten, dass der Elektrotonus am letzten Gliede von kaum nachweisbarer Grösse ist, so dass sie gegenüber der Grösse der Welle fast verschwindet. Es konnte daher die theoretisch unzweifelhafte Folgerung nicht demonstriert werden, dass eine sehr geringe Ablenkung der grossen Wellenablenkung merklich vorangeht, weil sehr kleine Abweichungen von der Abszissenaxe überhaupt nicht sicher festzustellen sind, weder in Kapillarelektrometerkurven noch in rheotomischen Versuchen, wo also der Galvanometerkreis erst im Momente der Beobachtung geschlossen wird.

C. Die Messung der Kapazität und der Selbstinduktion an Kapazitäts- und Kernleitern.

In einer theoretischen und durch zahlreiche Versuche bestätigten Untersuchung über Messungsergebnisse an Systemen der hier in Rede stehenden Art[1]) bin ich zu folgenden Resultaten gelangt.

Vorausgesetzt wird, dass die Messung nach der für Kapazitäten und Selbstinduktionen gewöhnlichen Methodik geschieht, dass nämlich zwei Punkten des Systems eine Potentialdifferenz erteilt, und dass nach Erreichung des stationären Zustandes diese plötzlich beseitigt und genau in demselben Moment an die beiden Punkte ein Bogen angelegt wird, welcher ein ballistisches Galvanometer enthält, also das vom System von den beiden Punkten aus gelieferte Stromintegral durch die Ablenkung bestimmt wird. Verwirklicht wird dies Verfahren bekanntlich am vollkommensten durch ein Wheatstone'sches Brückensystem[2]).

Indem ich bezüglich der rechnerischen und experimentellen Beweise auf die angeführte Arbeit verweise, führe ich nur einige wesentliche Sätze an:

1. Nebeneinander parallel geschaltete Kapazitäten summieren sich, so dass die Gesamtkapazität $G = \Sigma(c)$; bei hintereinander geschalteten Kapazitäten summieren sich dagegen die reziproken Werte, so dass $1/C = \Sigma(1/c)$. Die Kapazitäten verhalten sich also in bezug auf Summierung gerade umgekehrt wie Widerstände. In-

1) Annalen d. Physik Bd. 17 S. 501. 1905.

2) In der angeführten Arbeit sind einige Modifikationen dieses Verfahrens angegeben, welche die Ausführung ungemein bequem machen.

duktionskoeffizienten verhalten sich dagegen bei Hintereinanderschaltung ganz wie Widerstände; bei Parallelschaltung zweier Induktionen q_1 und q_2 mit den Widerständen w_1, w_2 ist der resultierende Koeffizient der Kombination

$$Q = \frac{w_1^2 q_2 + w_2^2 q_1}{(w_1 + w_2)}.$$

2. Unvollkommene Isolation, also endlicher Übergangswiderstand eines Kondensators in dem oben S. 97 f. erörterten Sinne, vermindert die scheinbare, d. h. in obiger Weise gemessene Kapazität. Die Verminderung lässt sich zwar in jedem Einzelfalle leicht berechnen, aber nicht allgemein angeben, da sie ausser von der Grösse des Übergangswiderstandes auch von den übrigen Widerständen abhängt (vgl. S. 98).

3. Ein System von n parallel geschalteten Kondensatoren, wie Fig. 1, kann ausser von zwei Punkten beider Seiten, z. B. A und C, auch von zwei Punkten einer Seite, z. B. A und B, oder F und G, beansprucht werden; dieser letztere Fall ist für uns besonders wichtig. Für die Punkte A und C ist, wenn jeder einzelne Kondensator die Kapazität c hat, die Gesamtkapazität C nach Satz $1 = nc$. Für die Punkte AB oder CD dagegen ergibt sich (wenn ausserdem alle Zwischenwiderstände gleich gross sind),

$$C = \frac{n(n+1)}{12(n-1)} c, \quad \ldots \ldots \quad (1)$$

welcher Wert sich mit zunehmendem n immer mehr der Grenze $\frac{1}{12} nc$ nähert[1]). Auch für andere gleichseitige Punkte, z. B. F, G (Fig. 1), lässt sich C leicht angeben, was aber hier kein Interesse hat.

4. Ein kontinuierlicher Kapazitätsleiter, dessen Kapazität für die Längeneinheit $= \acute{c}$ ist, hat bei zweiseitiger Beanspruchung die Kapazität $\acute{c}L$, wenn L seine Länge. Bei Beanspruchung von beiden Enden einer Seite ist dagegen

$$C = \frac{1}{12} \acute{c} L \quad \ldots \ldots \quad (2).$$

Bei endlichem Übergangswiderstand ist natürlich die Kapazität auch hier vermindert. — Eine lange und schmale Franklin'sche Tafel würde also im Falle der Beanspruchung von beiden Enden der einen Belegung bei der Messung genau $^1/_{12}$ derjenigen Kapazität ergeben,

---

1) Ein so beanspruchtes System ladet sich natürlich auf beiden Hälften in entgegengesetztem Sinne und entladet sich nach Beseitigung der ladenden Potentialdifferenz sofort, während nach zweiseitiger Beanspruchung das System geladen bleibt

welche sie zwischen beiden Belegungen hat. Nur sind für merkliche Wirkungen hohe Spannungen nötig, da die Belegung selbst eine Nebenschliessung zwischen beiden Punkten bildet. Ebenso würde sich ein Kernleiter verhalten, wenn man ihn von beiden Enden der Hülle oder des Kernes beansprucht; hier aber mischt sich der endliche Übergangswiderstand komplizierend ein.

5. Enthält ein Leitersystem Kapazitäten und zugleich Selbstinduktionen, z. B. Spulen ohne oder mit Eisenkernen, so bleiben die Induktionen, soweit sie im stationären Zustand stromlos sind, ohne jeden Einfluss auf das Messresultat. Man kann dies auch ohne Rechnung leicht erkennen, da die Messung der Selbstinduktion auf dem Extrastrom beruht und eine stromlose Spule bei Wegnahme der Potentialdifferenz keinen Extrastrom geben kann. Z. B. gibt das S. 114 in Fig. 5 dargestellte System bei Beanspruchung von den Punkten C und D aus bei der Messung nur die Kapazität, ohne jeden Einfluss der Induktionen, weil die Spulen im stationären Zustand stromlos sind; die Kapazität hat die in Nr. 4 besprochene Grösse. Ist dagegen ein endlicher Übergangswiderstand vorhanden, so sind die Spulen im Stationärzustand nicht ganz stromlos, und die Induktion wirkt daher auf das Resultat etwas ein.

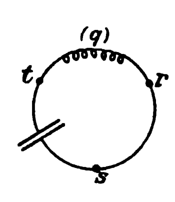


Fig. 14.

Ein anderes Beispiel von Einflusslosigkeit der Induktion bietet das System Fig. 14 bei Beanspruchung von den Punkten r und s aus; da in bezug auf r und s die Kapazität und Induktion hintereinander geschaltet sind, ist die Spule im Stationärzustand stromlos, und die Messung ergibt daher nur die Kapazität.

6. Sind Kapazität und Selbstinduktion in bezug auf die beiden Beanspruchungspunkte, z. B. r und t in Fig. 14, einander parallel geschaltet, und ist a der Widerstand der wirklich kontinuierlichen Leitung zwischen r und t (also der Strecke rqt in Fig. 14), so ergibt das Messverfahren den Betrag

$$q - a^2 c. \quad \quad (3)$$

Hierin ist, wenn mehrere Kondensatoren in irgendwelcher Schaltung beteiligt sind, ihre resultierende Kapazität C nach Nr. 3 und 4 für c einzusetzen, ebenso bei mehreren hintereinander geschalteten Induktionen ihre Summe für q. Wird z. B. das System S. 114 Fig. 5 von AB aus beansprucht, so ergibt die Messung $q - a^2 c$, wenn a der Widerstand und q der Selbstinduktionskoeffizient der ganzen

Leitung AB und c die nach Nr. 3 bestimmte Seitenkapazität ist. Bei Beanspruchung von C und D aus erhält man dagegen, wie schon in Nr. 5 bemerkt, nur $a^2 c$.

Der Ausdruck (3) zeigt zugleich, dass Selbstinduktion und Kapazität in entgegengesetztem Sinne auf das Galvanometer wirken, und dass die Wirkung 0 ist, wenn $q = a^2 c$.

Beiläufig sei noch bemerkt, dass bei Beanspruchung des Systems Fig. 5 von A und C aus die Induktion sich in ganz anderer und viel verwickelterer Weise einmischt.

7. Werden mehrere Systeme wie das in Fig. 5 dargestellte parallel geschaltet, so kann dies mit Beanspruchung der parallel geschalteten induktionsfreien Seiten oder mit Beanspruchung der parallel geschalteten induktiven Seiten geschehen. Die vorstehenden Sätze gelten auch für diese Fälle; nur muss im ersteren Falle die resultierende Kapazität, im zweiten der resultierende Induktionskoeffizient nach Satz 1 resp. 3 festgestellt und in Rechnung gezogen werden.

Die Richtigkeit dieser Sätze habe ich durch zahlreiche Versuche bestätigt gefunden.

D. Übergang auf den Nerven[1]).

1. Das Produkt aus c und q an der Nervenfaser.

Das nächstliegende Mittel, über Kapazität und Selbstinduktion der Nervenfaser Aufschluss zu erhalten, bietet die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung. Nach der von mir 1899 aufgestellten Theorie ist nämlich $1/\sqrt{\bar{q}\bar{c}}$ die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Nervenfaser, also $\sqrt{\bar{q}\bar{c}}$ die Zeit, in welcher die Längeneinheit, die wir stets = 1 cm setzen wollen, von der Erregung zurückgelegt wird. Runden wir für den Froschnerven die Angaben von Helm-

1) Bei der Anwendung der Kernleitertheorie auf den Nerven möchte ich ausdrücklich bemerken, dass die von Boruttau und Nernst aufgeworfene Frage, ob man bei der Grenzfläche zwischen zwei elektrolytischen Leitern wie Kern und Hülle von Polarisierbarkeit sprechen darf, unberührt bleibt und namentlich durch die Betrachtung unter dem Bilde der Kapazität aus der Diskussion zunächst herausfällt.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich nochmals betonen, dass ich als Kern der Fasern immer nur den ganzen protoplasmatischen Inhalt und nicht den Achsenzylinder gegenüber der Markscheide verstanden habe, wie mir hie und da irrtümlich zugeschrieben wird.

holtz auf 25 m oder 2500 cm ab, so ist hiernach $\sqrt{qc} = {}^{1}/_{2500} = 4 \cdot 10^{-4}$ Sekunden, also[1])

$$qc = 16 \cdot 10^{-8} \text{ sek}^2; \quad \ldots \ldots \quad (1)$$

$\acute{q}$ und c selbst können natürlich aus diesem Produkte nicht entnommen werden.

2. Fähigkeit zu elektrischen Eigenschwingungen.

Dagegen genügt das Produkt $\acute{q}\acute{c}$, um die interessante Frage zu entscheiden, ob die Nervenfaser vermöge ihrer Kapazität und selbstinduktionsartigen Wirkung elektrische Eigenschwingungen geben kann. Dies ist bekanntlich der Fall, wenn $\acute{w}^2 < 4\acute{q}/\acute{c}$. Auf den ersten Blick erscheint es hoffnungslos, letzteres zu entscheiden, da wir für die einzelne Nervenfaser $\acute{w}$ nicht im geringsten kennen, ferner zwar $\acute{q}\acute{c}$ kennen, aber nicht $\acute{q}/\acute{c}$. Auf folgendem Wege aber gelingt die theoretische Beantwortung der Frage.

Nach der Theorie (Gleichung 4, S. 112) ist der Dämpfungsfaktor der Erregung $= e^{-\lambda y}$, d. h. nach Zurücklegung der Strecke y ist die Erregung auf den Bruchteil $e^{-\lambda y}$ ihrer Grösse gesunken. Nun wissen wir aber, dass das Dekrement der Erregung für kurze Nervenstrecken nur schwierig nachweisbar ist[2]), werden also sicher behaupten können, dass nach Zurücklegung von 1 cm die Abnahme nicht mehr als ${}^{1}/_{100}$ beträgt, d. h. dass $e^{-\lambda}$ nicht kleiner ist als ${}^{99}/_{100}$, eher vielleicht ${}^{999}/_{1000}$, oder noch näher an 1; d. h. die Grössenordnung von λ ist log nat 0,99, oder log nat 0,999; ersteres würde etwa 0,01, letzteres 0,001 ergeben.

Nun ist aber nach S. 111

$$\lambda = \frac{w}{2}\sqrt{\frac{c}{q}}, \quad \text{also} \quad w^2 = \frac{4q}{c}\lambda^2 \quad \ldots \quad (2);$$

also ist bei der Kleinheit von λ ganz sicher $w^2 < q/c$, also die Oszillationsbedingung reichlich erfüllt.

Die Oszillationsfrequenz ist

$$n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{qc} - \frac{w^2}{4q^2}} \quad \ldots \ldots \quad (3)$$

---

1) Der Index über q, c, w muss im folgenden wegbleiben, da die Grössen für 1 cm gelten sollen und unter dieser Voraussetzung die gewöhnliche Dimension haben.

2) Bekanntlich rührt der einzige bisher vorliegende Nachweis von Boruttau her, vgl. dieses Archiv Bd. 84 S. 332. 1901; für geschädigte Nerven vgl. Boruttau und Fröhlich, Zeitschr. f. allg. Physiol. Bd. 4 S. 153 ff. 1904.

oder mit Einsetzung des vorstehenden Wertes von w^2

$$n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1-\lambda^2}{qc}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{qc}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4).$$

Setzt man hierin qc nach Gleichung (1) ein, so ergibt sich

$$n = \text{ca. } 400.$$

Eine 1 cm lange Faserstrecke würde also bei jeder Einwirkung etwa 400 Oszillationen pr. sek machen. Die Oszillationsfrequenz müsste der Länge der Nervenstrecke umgekehrt proportional sein, da q und c mit den Längen wachsen.

Vorstehendes Ergebnis hat zunächst keine praktische Bedeutung, scheint mir aber deswegen beachtenswert, weil sich vielleicht später die Möglichkeit bietet, zu erklären, warum für die Reizung mit Wechselströmen bei gewissen Frequenzen ein Optimum liegt. Zum mindesten wird man letzteres nicht mehr ohne weiteres als Einwand gegen die Theorie betrachten dürfen, wie dies geschehen ist.

3. Weiteres über q und c.

Aus Gleichung (2) würde man, wenn man den Wert von w für die einzelne Nervenfaser kennen würde, einen Näherungs- oder Grenzwert von q/c ermitteln und also mit Hinzunahme von (1) q und c explizite kennen lernen können. Über w wissen wir aber gar nichts. Natürlich würde es ganz falsch sein (vgl. S. 110), etwa w so für 1 cm Nervenfaser ermitteln zu wollen, dass man sagt: ein Nerv besteht aus x parallel geschalteten Fasern; 1 cm Froschischiadicus hat etwa 80 000 Ω, also hat die einzelne Faser $x \cdot 80\,000\ \Omega$. Wahrscheinlich ist w für die Einzelfaser wesentlich derjenige Widerstand, der für die kürzesten Strömungslinien in unmittelbarer Nähe des Kerns in Betracht kommt, und es erscheint sogar fraglich, ob w den Faserlängen proportional gesetzt werden darf. Auf diesem Wege q und c ermitteln zu wollen, erscheint daher unmöglich. Man muss direkte Bestimmungen versuchen.

4. Unmöglichkeit der direkten Bestimmung von q.

Hoorweg hat den Versuch gemacht, direkt zu entscheiden, ob der Nerv die von mir behauptete selbstinduktionsartige Eigenschaft besitzt, und von derselben keine Spur, sondern nur einen Kapazitäts-

ausschlag gefunden, was ihn veranlasst hat, meine Theorie als falsch zu betrachten [1]).

Im Nerven hat aber die „Selbstinduktion" ihren Sitz im Faserkern, d. h. jenseits der Kapazitätsfläche zwischen Hülle und Kern, da wir die Nervenfaser immer nur von der Hülle aus beanspruchen können. Wäre die Nervenfaser ein idealer Kapazitätsleiter, d. h. der Übergangswiderstand unendlich, so würde bei Versuchsweisen der oben S. 124 charakterisierten Art (und zu diesen gehört auch das von Hoorweg benutzte Verfahren) der Versuch nur die Kapazität messen und von der Selbstinduktion, wäre sie auch noch so stark, nach S. 126 nicht die geringste Spur aufweisen können. Nun hat freilich die Kapazitätsfläche der Nervenfasern einen endlichen Übergangswiderstand, wie die Existenz des Elektrotonus beweist (siehe oben S. 107 f.); die Kerne sind folglich im stationären Zustande nicht völlig stromlos, geben also bei der Öffnung etwas Extrastrom, so dass sich q in das Resultat einmischt; dasselbe ist also ausdrückbar durch $q^* - a^2c$ (vgl. S. 126), worin q^* den relativ kleinen Anteil des Induktionskoeffizienten ausdrückt, der sich unter diesen Umständen kundgeben kann. Hoorweg's Versuch beweist nun nur, dass $q^* < a^2c$, d. h. dass der wirksame Anteil der Induktion nicht gross genug war, um die der Kapazität ensprechende Ablenkung überzukompensieren. Jedenfalls ist der Versuch in keiner Weise geeignet, über die Existenz einer selbstinduktionsartigen Eigenschaft des Nerven zu entscheiden.

5. Messungen der Kapazität des Nerven.

Wenn man die Kapazität eines Nerven kennt, weiss man noch nicht das geringste über die Kapazität der einzelnen Faser, und gerade diese müsste man kennen, um mittels der Gleichung (1) auch q indirekt zu bestimmen. Trotzdem scheint die Ermittlung der Kapazität ganzer Nerven auch an sich einiges Interesse zu haben. Bisher existieren meines Wissens keine Messungen dieser Art. Meine 1888 erschienene Arbeit über die Polarisationsbeträge im Nerven [2]) gibt nur für die Grössenordnung des Übergangswiderstandes, aber nicht für die der Kapazität Anhaltspunkte.

Neuerdings habe ich zahlreiche Versuche über diesen Gegen-

1) Dieses Archiv Bd. 85 S. 109. 1901.

2) Dieses Archiv Bd. 47 S. 1. 1888.

stand angestellt. Die angewandte Methode ist in ihren Einzelheiten aus meiner Arbeit in den Annalen der Physik (1905) zu ersehen.

Gleich bei den ersten Versuchen ergaben sich sehr erhebliche Schwierigkeiten. Bekanntlich muss durch Abgleichung der Widerstände in dem Wheatstone'schen System das Brückengalvanometer stromlos gemacht werden. Dies gelingt aber höchstens für einen Augenblick, die Skala wandert fortwährend, und bei der grossen Empfindlichkeit des Galvanometers ziemlich rasch, im Sinne einer Zunahme des Widerstandes infolge der beständig wachsenden Polarisation[1]). Nur bei auf Null stehender Skala kann man aber den bei der Öffnung des Stromes eintretenden Kapazitätsausschlag sicher messen. Einigermassen gelang es dieser Schwierigkeit Herr zu werden durch Verwendung äusserst schwacher Ströme, indem in die Leitung des stromgebenden Elementes ein Widerstand von 10000 Ohm eingeschaltet wurde, der natürlich in der Berechnung zu berücksichtigen ist. Die Ausschläge waren immer noch gross genug, die Wanderung aber so mässig, dass man aus zahlreichen Ausschlägen von entgegengesetzter Richtung (bei Schliessung und Öffnen des Stromes) einigermassen brauchbare Mittelwerte des Kapazitätsausschlages gewinnen konnte. Eine zweite Schwierigkeit der Versuche liegt darin, dass der Nerv an sich nicht völlig stromlos ist, auch wenn die Beanspruchung an zwei symmetrisch liegenden Längsschnittspunkten stattfindet. Diese Eigenwirkung, welche auch bei offenem Messstrom eine Ablenkung des Brückengalvanometers unterhält, rührt wesentlich von den Messströmen selbst her, und beruht darauf, dass die Polarisation zu einem kleinen Teile lange nach der Öffnung bestehen bleibt, und erst nach sehr langer Pause vollständig verschwunden ist; die Ablenkung ist stets im Sinne der Polarisation und nimmt, wenn die Intervalle nicht sehr gross sind, durch jeden folgenden Versuch mit gleich gerichtetem Messstrom etwas zu. Auch dieser Übelstand lässt sich vermindern durch Verwendung sehr schwacher Ströme, ferner durch nicht zu schnelle Aufeinanderfolge der Bestimmungen. Da die Eigenablenkungen aber nie völlig ausbleiben, so muss man bei der Einstellung der Widerstände (ähnlich wie bei Widerstandsmessungen nach dem Froelich'schen Prinzip) die abgelenkte Skalenstellung als Nullpunkt betrachten und von ihr aus die Kapazitätsausschläge bemessen. Immer bleibt, wie jeder, der

1) Vgl. dieses Archiv Bd. 47 S. 16. 1888.

die Versuche wiederholt, bestätigen wird, die Kapazitätsmessung recht ungenau[1]).

Es wird genügen, wenn ich nur einige Beispiele aus einer grossen Reihe von Versuchen mitteile.

Beispiel Nr.	Untersucht	Streckenlänge mm	Widerstand (einschl. Elektroden) Ohm	Gefundene Kapazität Mikrof.
1.	Elektroden allein	—	4 340	0
2.	Ischiadicus, einfach	5,5	36 900	0,13
3.	„ „	6	50 600	0,998
4.	„ doppelt	14	42 500	0,65
5.	„ „	14	41 000	0,54
6.	„ „	4	60 000	0,62
7.	„ „	6,5	42 000	0,684
8.	„ dreifach	4	35 700	0,40
9.	„ vierfach	5	28 000	1,72
10.	„ „	6,5	21 800	0,525
11.	„ „	6	23 500	0,307
12.	„ „	2,5	12 240	0,43
13.	Gekochter Ischiadicus, doppelt	3	10 700	0
14.	„ „ „	5	11 400	0
15.	„ „ „	6	30 000	0,03

Man erkennt vor allem, dass die Kapazität des Nerven durch Kochen zerstört wird, was von der Polarisierbarkeit bereits bekannt ist. Sonst aber ergeben die Versuche, dass die ungefähre Grössenordnung der Kapazität, wenn man von den experimentellen Werten in Nr. 2, 3 und 9 absieht, um 0,5 Mikrofarad liegt. Eine deutliche Beziehung zur Länge und zum Querschnitt der untersuchten Strecke ist wegen der Unvollkommenheit der Methode nicht zu entnehmen.

Über die Kapazität der einzelnen Faser ist hieraus, wie schon bemerkt, nichts zu ersehen. Ein ausgezeichnetes Objekt, diese wichtige Grösse festzustellen, müsste der einfaserige elektrische Nerv des Zitterwelses sein. Könnte man im Nerven sich alle Faserkerne zu einem einzigen vereinigt denken und diesem schematischen Nerven die gefundene Kapazität von 0,5 Mikrof. beilegen, so würde nach dem S. 125 Gesagten das Zwölffache, also 6 Mikrof., die Kapazität

1) Erwähnt sei noch, dass ganz dieselben Schwierigkeiten, nur in noch höherem Grade, sich einstellen, wenn man die Kapazität gewöhnlicher Kernleiter (Platindraht in Zinklösung) zu messen sucht. Trotz zahlreicher Versuche ist es mir nicht gelungen, regelmässige Beziehungen der Kapazität zu den Dimensionen (Streckenlänge, Rohrweite usw.) festzustellen.

der Grenzfläche für 1 cm Länge sein, und wenn man Gleichung (1) auf diesen schematischen Nerven anwenden dürfte, was sehr fraglich ist, so würde sich q pro cm zu $2{,}67 \cdot 10^7$ cm ergeben.

E. Das Erregungsgesetz des Nerven.

Da der von mir aufgestellten Theorie der Nerventätigkeit das du Bois'sche Erregungsgesetz zugrunde liegt, freilich mit der Modifikation, dass ich eine zeitliche Summation von Erregungen im Nerven nicht zulasse, muss ich es rechtfertigen, dass ich dies Gesetz, gegenüber manchen Anfechtungen seitens neuerer Autoren, noch immer als zu Recht bestehend ansehe.

Namentlich Biedermann, dessen Urteil ich hohen Wert beizulegen gewohnt bin, äussert sich in einer Arbeit über Physiologie des Rückenmarks[1]) ziemlich geringschätzig über den Wert des du Bois-Pflüger'schen Erregungsgesetzes und über die Versuche, scheinbare Abweichungen von diesem Gesetze mit demselben in Einklang zu bringen. Er führt besonders ins Feld die erregenden Dauerwirkungen konstanter Ströme auf die Muskeln und namentlich die Nerven kalt gehaltener Frösche.

Gewiss wird jeder zugeben, „dass sich die Lebensvorgänge, je näher wir ihnen treten, um so rätselhafter und verwickelter erweisen, während auf der anderen Seite das Gebiet, welches dem Physiologen heute zu überschauen gegönnt ist, verschwindend klein erscheint gegenüber der ungeheuren Mannigfaltigkeit der Lebensformen, die unter dem Einfluss verschiedener Lebensbedingungen entstanden sind.“ Aber wie sollen wir auf dem schwierigen Gebiet der Lebenserscheinungen überhaupt in der Einsicht fortschreiten, wenn wir das, was unter einfacheren Bedingungen als „Gesetz“ erkannt ist, gleich als falsch und wertlos aufgeben, weil es unter verwickelteren scheinbar nicht passt? Ob man einen auf einen bestimmten Erscheinungskomplex gegründeten Induktionsschluss als „Gesetz“ bezeichnen will oder anders, erscheint zunächst als blosse Geschmackssache.

Ist denn nun der „Kaltfrosch“ ein so normales Tier, dass sein Verhalten für fundamentale Fragen in erster Linie in Betracht kommt? Ein durch Kälte fast erstarrter Frosch zeigt nur äusserst träge Reaktionen, so dass man geneigt sein würde, seine Torpidität

1) Dieses Archiv Bd. 80 S. 409 ff. 1900.

auf eine Art von Lähmung der Zentralorgane zu beziehen. Aber andrerseits sind letztere, wie namentlich Biedermann zeigt, von einer staunenswerten Erregbarkeit für zahlreiche Reize und haben besonders eine Neigung zu tonischen Erregungen, so dass möglicherweise die scheinbare Starrheit durch Dauerkontraktionen vorgetäuscht wird. Ob dieser Zustand als abnormer zu bezeichnen ist, ob er nicht vielmehr für das Überleben der Kälte dem Thiere irgendwelchen Nutzen bringt, lässt sich wohl kaum übersehen. Aber jedenfalls ist er, gegenüber dem Verhalten eines in voller Lebensfrische herumhüpfenden und sich nährenden Sommerfrosches, ein gänzlich exzeptioneller. Welch falsche Vorstellung würden wir uns von den Lebenseigenschaften des Genus Frosch, besonders aber von der Natur der geordneten Reflexe und anderer Rückenmarksfunktionen, bilden, wenn uns nur Kaltfrösche zu Gesichte kämen!

Die enorme, um nicht zu sagen: abnorme Erregbarkeit erstreckt sich nun beim Kaltfrosch auch auf die peripherischen Nerven, und dieser Umstand ist bekanntlich hie und da mit Vorteil verwertet worden, um sonst schwer darstellbare Erscheinungen, z. B. die wahre sekundäre Zuckung vom Nerven aus, sicher festzustellen. Ich halte es übrigens, beiläufig gesagt, nicht für ausgeschlossen, dass diese letzteren Erfolge mehr als der erhöhten Erregbarkeit dem Umstande zu danken sind, dass die Kälte den Ablauf des Erregungsvorganges verzögert und so gewisse Wirkungen begünstigt, welche sonst wegen zu grosser Flüchtigkeit ausbleiben.

Nun soll die Erfahrung, dass bei Kaltfröschen konstante Durchströmung des Nerven ziemlich regelmässig tetanische Dauererregung macht, zeigen, dass das du Bois'sche Grundgesetz „nicht als ein wirklich umfassender Ausdruck der Beziehungen zwischen Strom und Nerv angesehen werden kann", und dass diejenigen, welche „sich mit abnormen Zuständen des Nerven zu helfen suchen", sich gewissermassen an Natur und Wahrheit versündigen.

Biedermann richtet zwar an mich diesen Vorwurf nicht, weil die angedeutete Erklärung der tetanisierenden Wirkung konstanter Ströme von mir herrührt — denn aufgestellt ist sie von Engelmann[1]) und Grünhagen[2]) —, sondern nur, weil ich dieselbe in meinem Lehrbuch und in meinem Leitfaden für das Praktikum

1) Dieses Archiv Bd. 3 S. 403. 1870.
2) Dieses Archiv Bd. 4 S. 547. 1871.

als berechtigte Vermutung angeführt habe. Ich aber sage im Gegenteil: Aus diesen Erscheinungen den Schluss zu ziehen, dass der konstante Strom prinzipiell eine erregende Wirkung habe, welche derjenigen der Stromesschwankungen an die Seite gesetzt werden kann, erscheint mir gänzlich ungerechtfertigt.

Vor allem muss ich dieselbe Frage aufwerfen, welche bereits Pflüger vor 46 Jahren beschäftigt hat: Worin soll das diskontinuierliche Moment bestehen, welches zum Tetanisieren des Muskels unentbehrlich ist? Denn dass es sich um wahren Tetanus und nicht bloss um sogenannte Dauerkontraktion oder Kontraktur handelt, ist nachgewiesen. Und andrerseits fehlt jeder Nachweis dafür, dass eine glatte Dauererregung des Nerven überhaupt existiert, und namentlich, dass eine solche eine Dauerkontraktion des Muskels herbeiführen kann.

Ferner muss auf die grosse Analogie zwischen Schliessungs- und Öffnungstetanus von neuem hingewiesen werden. Beide Erscheinungen sind an ganz frischen Nerven normaler Sommerfrösche meist absolut nicht zu erhalten, weder bei schwachen noch bei starken Strömen, und der Öffnungstetanus auch nicht nach ausserordentlich langen Schliessungen. Dagegen sind beide Phänomene an etwas vertrockneten Nerven und ganz besonders an den Nerven von Kaltfröschen sehr oft vorhanden und zeigen sich namentlich an Präparaten, welche auch zu spontanem Tetanus geneigt sind, der nach Abschneiden des Nerven sofort verschwindet, deren Nerv also durch unbekannte Reize in einem beständigen Tetanus von wahrscheinlich unregelmässigem Habitus erhalten wird.

Zur weiteren Prüfung der Annahme von Engelmann und Grünhagen hat auf meine Veranlassung im Jahre 1902 Herr Dr. R. Mardzinski, grösstenteils unter Leitung des Herrn Dr. O. Weiss, Versuche angestellt, welche bisher nur in einer Dissertation veröffentlicht sind [1]). Derselbe badete die Nerven von Froschpräparaten, welche an sich vom Pflüger'schen Tetanus nichts oder nur geringe Spuren zeigten, 7—8 Minuten in einem Gemisch von einem Teil konzentrierten Glyzerins und drei Teilen Wasser. Nach diesem Bade verhielten sich die Nerven ganz wie die von Kaltfröschen, an denen vorher zahlreiche Versuche über Schliessungs- und Öffnungstetanus angestellt worden waren. Sie gaben bei mässigen

1) Beiträge zur allgemeinen Nervenphysiologie. Königsberg 1902.

Stromstärken Schliessungstetanus statt der Schliessungszuckung, und, nachdem sich derselbe beruhigt hatte, bei der Öffnung Öffnungstetanus. Dasselbe Verhalten zeigten Nerven, welche in 3 %iger Kochsalzlösung so lange gebadet waren, bis Zeichen von Unruhe im Muskel auftraten; hierzu ist ¼—1 Minute nötig. Nach dem Bade, eventuell nachdem zu grosse Unruhe durch Baden in 0,6 %iger Lösung beseitigt war, zeigte sich bei denselben Stromstärken wie am Kaltfrosch Schliessungs- und Öffnungstetanus.

Dieselben Versuche wurden im Jahre 1903 von Herrn Dr. J. Harris mit demselben Erfolge wiederholt, ebenfalls unter Leitung des Herrn Dr. Weiss.

Der Nerv lässt sich also künstlich durch mässige Wasserentziehung in einen ähnlichen Zustand wie der des Kaltfrosches versetzen. Mit welchem Rechte will man nun demgegenüber behaupten, dass der normale Nerv durch den konstanten Strom dauernd erregt wird? Und lässt sich überhaupt die doch so entschieden ausgeprägte Analogie des Öffnungstetanus mit dem Schliessungstetanus begreifen, wenn man letzteren von primärer Dauererregung herleitet?

Hinsichtlich des Muskels, und der kontraktilen Gebilde überhaupt, können wir ein weit grösseres Gebiet übersehen als hinsichtlich des Nerven, dessen Erregungsgesetze bei niederen Tieren so gut wie unerforscht sind. Ich stimme Biedermann darin vollständig zu, dass von dem trägen kontraktilen Amöboidgebilde bis zu dem rapide sich kontrahierenden Skelettmuskel des Menschen, welcher Sprache und Klavierspiel ermöglicht, eine ungeheure Reihe von Erscheinungen sich darbietet, und dass ein allgemein gültiges Erregungsgesetz hier schwerlich existiert. Aber das lässt sich mit Sicherheit annehmen, dass eine Beziehung besteht zwischen der Trägheit des Organs und der Natur des geeigneten Reizes. Wir wissen bereits, dass die relativ ungemein starke Reizwirkung des Induktionsstroms, die man am Nerven und am ganz normalen Muskel beobachtet, am letzteren durch Ermüdung, Gifte, Kälte und dergl. mehr und mehr zurücktritt, und zwar parallel mit dem Auftreten der Neigung, auf Einzelreize mit Dauerkontraktion bis zur Kontraktur, idiomuskulären Wulstbildung und dergl. zu antworten. Im glatten Muskel sind diese Eigenschaften schon normal vorhanden. Die Frage, ob die Dauerkontraktion, welche die Schliessung eines Stromes in solchen Gebilden zuweilen hervorruft, auf einer langen Nach-

wirkung des Schliessungsreizes oder auf einer permanenten Reizwirkung des konstanten Stromes beruht, wird erst dann entschieden werden, wenn man weiss, ob man auch den glatten Muskel in den Strom ohne Kontraktion einschleichen lassen kann. Vorläufig hat man das Recht, anzunehmen, dass auch an den kontraktilen Gebilden der eigentliche elektrische Reiz die Stromesschwankung ist, dass aber das Optimum nicht, wie am Nerven, bei der grössten Steilheit zu liegen braucht.

Die grossartige Einfachheit des du Bois'schen Grundgesetzes, die Leichtigkeit, mit welcher es die Tatsache des Einschleichens und andrerseits die heftige Wirkung sehr schwacher induktiver und spannungselektrischer Vorgänge erklärt, habe ich schon wiederholt hervorgehoben. Ich muss aber noch hinzufügen, dass durch das Pflüger'sche polare Gesetz, das v. Bezold, Engelmann und namentlich Hering auch auf den Muskel ausgedehnt haben, das du Bois'sche Gesetz geradezu zur Notwendigkeit wird. Das polare Gesetz ist überhaupt nur als Gesetz der Wirksamkeit von Stromesschwankungen aussprechbar.

Die berechtigten Einwände, welche gegen das du Bois-sche Gesetz erhoben worden sind, treffen, wie ich gezeigt habe[1]), nicht das Schwankungsgesetz an sich, sondern den von du Bois-Reymond gemachten Zusatz, dass die Schwankung di/dt nicht eine Erregung ε, sondern ein zeitliches Erregungsdifferential εdt hervorbringe. Dieser Zusatz führt zu Widersprüchen mit den Tatsachen und ist für den Nerven selbst völlig überflüssig. Ja, man kann sogar behaupten, dass eine Summation zeitlicher Erregungsdifferentiale im Nerven sicher nicht stattfindet, denn die feine Empfindung für rasche zeitliche Schwankungen taktiler, optischer, akustischer Eindrücke erscheint mit einer zeitlichen Summation völlig unvereinbar. Dass in den trägen Erfolgsorganen, namentlich im Muskel, Summation sukzessiver Momenterregungen stattfindet, ist dagegen sehr wahrscheinlich und ist der wahre Grund von Erscheinungen, welche von manchen Autoren als Widersprüche gegen das Grundgesetz hervorgehoben worden sind.

Es kann nicht genug beachtet werden, dass wir die Erregung am Nerven selbst nur sehr unvollkommen beobachten können und quantitative Beziehungen hier kaum ermittelt sind. So ziemlich alle

1) Dieses Archiv Bd. 75 S. 576 f. 1899.

vorliegenden Versuche über Nervenreizungen betreffen das Gesetz der indirekten Muskelreizung. Wir sind also etwa in der Lage, in welcher ein Physiker sein würde, der zur Beobachtung sehr flüchtiger elektrischer Vorgänge nur ein Galvanometer mit schwerem Magneten zur Verfügung hat. Nur in trägen Organen finden zeitliche Summationen der Effekte statt. Gildemeister hat vor kurzem gezeigt, dass gewisse Beziehungen zwischen elektrischen Einwirkungen und Muskelkontraktion sich künstlich nachahmen lassen, wenn der Anschlag einer trägen Masse gegen eine Glocke an Stelle der Muskelkontraktion gesetzt wird [1]). Wir haben also bisher eigentlich nur die Bedingungen studiert, unter welchen die Elektrizität auf den relativ trägen Muskelapparat auslösend wirkt, und den Nerven nur als einen besonders günstigen und hinsichtlich der elektrischen Vorgänge besser übersehbaren Vermittlungsapparat benutzt; vermutlich gelten für die direkte Muskelreizung dieselben Gesetze wie für die indirekte. Man kann also sagen, dass alle Versuche über indirekte Muskelreizung über das Gesetz der Nervenerregung gar nichts aussagen, auch wenn sie, wie die Hoorweg'sche Formel (siehe unten) und die Erscheinungen bei raschen Wechselströmen, besonders gut zu einem supponierten Nervenerregungsgesetz stimmen sollten. Ebensowenig wie als Bestätigung dieses Gesetzes kann dieser Umstand als Widerlegung des du Bois'schen Grundgesetzes geltend gemacht werden. Das letztere stützt sich auch durchaus nicht auf die indirekte Muskelreizung, sondern auf viel allgemeinere Tatsachen, nämlich das „Einschleichen" auch bezüglich der Empfindungen, die starke generelle Wirksamkeit der Induktionen und Entladungen, endlich und vor allem, wie schon erwähnt, auf die polaren Beziehungen.

Mehrere Untersucher, besonders Hoorweg, haben angegeben, dass bei Kondensatorentladungen das für eine Minimalzuckung nötige Potential p zur Kapazität c und zum Widerstande w des Entladungskreises die Beziehung habe: $p = kw + b/c$, oder, wenn der Widerstand nicht variiert wird: $p = a + b/c$, worin k, a und b Konstanten sind. Ohne an der Richtigkeit dieses Gesetzes zu zweifeln, das, wie oben bemerkt, durchaus keine Widerlegung des du Bois-schen Grundgesetzes enthalten würde, habe ich, im Zusammenhang mit anderen Fragen, Gelegenheit genommen, von dem Geltungs-

1) Dieses Archiv Bd. 101 S. 53 1904.

bereich der angeführten Beziehung persönlich eine Anschauung zu gewinnen, zu meiner Überraschung aber, obwohl ich die besten Experimentiermittel und die grösste Sorgfalt verwandte, diese Beziehung durchaus nicht bestätigt gefunden.

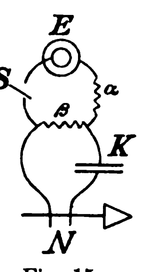


Fig. 15.

Fig. 15 stellt das Versuchsverfahren schematisch dar. *E* ist ein Akkumulatorelement von 2 Volt, *α* und *β* induktionsfreie Rheostatwiderstände, *K* ein Edelmann'scher Glimmerkondensator, dessen Kapazität sich auf alle Beträge zwischen 0,001 und 1,111 Mikrofarad stöpseln lässt, und *N* der Nerv mit gleichartigen und und unpolarisierbaren Elektroden. Der durch Schliessung des Schlüssels *S* auf das Potential $\frac{2\beta}{\alpha+\beta}$ Volt geladene Kondensator entlädt sich bei Öffnung von *S* durch die Nervenstrecke.

Ich begnüge mich mit der Mitteilung eines Versuchs von vielen mit gleichem Ergebnis. Der Entladungsstrom war im Nerven absteigend, die Nervenstrecke nur wenige Millimeter lang, der Widerstand derselben 17250 Ohm.

c in Mikrofarad	α Ohm	β Ohm	hiernach p Millivolt	$a + \frac{b}{c}$ (s. unten)	Abweichung vom gefundenen Wert		pc in Milliv.-Mikrof.	p^2c (Verhältniszahlen)
					absolut	Prozent des gef.		
1,000	1000	29	56,4	81,2	+ 24,8	+ 44	56,4	31,81
0,500	"	32	62,0	82,6	+ 20,6	+ 33	31,0	19,22
0,200	"	36	69,5	86,6	+ 17,1	+ 25	13,9	9,78
0,100	"	43	82,5	93,4	+ 10,9	+ 13	8,3	6,81
0,050	"	57	107,8	106,8	— 1,0	— 1	5,4	5,81
0,020	"	89	163,5	147,3	— 16,2	— 10	3,3	5,35
0,010	"	138	242,5	214,7	— 27,8	— 11	2,4	5,88
0,005	"	236	381,9	349,4	— 32,5	— 8	1,9	7,29
0,002	"	620	765,4	753,8	— 11,6	— 1	1,5	11,72
0,001	"	2400	1411,8	1427,6	+ 15,8	+ 1	1,4	19,93

Der fünften Kolumne sind nach dem Prinzip der kleinsten Fehlerquadrate als wahrscheinlichste Werte der Hoorweg'schen Konstanten die Zahlen $a = 79{,}9$ und $b = 1{,}3477$ zu Grunde gelegt. Wie man sieht, ist die Abweichung von der behaupteten Beziehung namentlich bei grossen Kapazitäten und kleinen Potentialen sehr gross; sie beträgt bis zu 44 % des gefundenen Wertes. Allerdings noch viel grösser sind die Abweichungen von den unmittelbaren Ableitungen aus dem

du Bois'schen Gesetz. Weder ist p irgendwie konstant noch die Elektrizitätsmenge pc; beides ist schon vielfach von anderen gefunden worden. Auch die elektrische Energie $\frac{1}{2} p^2 c$ ist, wie ebenfalls schon frühere Untersucher fanden, durchaus nicht konstant. Am meisten tritt der Umstand hervor, dass um so kleinere Elektrizitätsmengen erforderlich sind, je höher die Spannung, dass es also auf diese, d. h. anscheinend auf die Steilheit des ersten Anstiegs, am meisten ankommt. Diese für das du Bois'sche Gesetz sprechende Erscheinung zeigt sich auch sehr ausgesprochen in den Versuchen mit Verzögerung des Anstiegs durch Selbstinduktion[1]).

F. Schlussbemerkung.

Die von mir seit 1872 versuchte, 1899 in mathematische Form gebrachte und in dieser Arbeit weiter verfolgte Theorie der Nervenleitung hat mit der bei den Fachgenossen weit verbreiteten Überzeugung zu kämpfen, dass es aussichtslos oder wenigstens verfrüht sei, protoplasmatische Vorgänge physikalisch deuten zu wollen. Ich lasse mich durch diese Ansicht nicht beirren, sondern versuche lieber, wie weit man mit der physikalischen Betrachtung kommen kann; ich muss die Verurteilung auf mich nehmen, falls es sich erweisen sollte, dass ich auf falschem Wege bin. Unter allen protoplasmatischen Gebilden scheint mir der Nerv dem Forscher die meiste Aussicht zu bieten, in das organische Leben einzudringen, jedenfalls weit mehr als der Muskel, der neben den mit dem Nerven gemeinsamen Eigenschaften der Erregbarkeit und Erregungsleitung noch das tiefe Geheimnis der organischen Formveränderung birgt. Auch habe ich, wie ich hervorheben muss, keineswegs unternommen, den Nerven rein physikalisch zu behandeln, sondern die Erregung ist auch für mich noch ein völlig unbekannter Vorgang[2]), von dem ich nur die Beziehung zum Reiz einerseits, und andrerseits die elektromotorische Wirksamkeit als gegebene Tatsachen in Rechnung ziehe. Dass aber die sich aufdrängenden Beziehungen zwischen Aktionsstrom und Erregungsgesetz kein Zufall sind, dass die tierische Elektrizität ein wichtiger Faktor der Organisation ist, bleibt meine feste Überzeugung.

---

1) Vgl. Gildemeister, dieses Archiv Bd. 101 S. 203. 1904.

2) Hierin unterscheide ich mich namentlich von Hoorweg, der den Nerven für ein rein elektrisches Gebilde hält; schon das neuerdings nachgewiesene Sauerstoffbedürfnis macht diese Ansicht unwahrscheinlich.

Anhang über Reizung durch Extraströme.

Die Reizung durch Öffnungs-Extraströme bildet einen bekannten, in allen Lehrbüchern der Physik angeführten Versuch, welcher lange den hauptsächlichsten Nachweis der Selbstinduktion darstellte. Die physiologische Wirkung des Schliessungs-Extrastromes ist dagegen erst 1891 von **Hering** durch einfache Versuche nachgewiesen[1]).

Bisher sind meines Wissens die physikalischen Verhältnisse bei beiden Versuchsarten noch nicht streng dargestellt worden, obwohl aus denselben sich gewisse Beziehungen zu den Hauptfragen des Erregungsgesetzes ergeben.

Fig. 16.

In Fig. 16 sei eine Induktionsspirale vom Selbstinduktionskoefizienten q als Nebenschliessung zwischen der elektromotorischen Kraft E und dem Nerven N eingeschaltet. Der Widerstand des Kettenzweiges, welcher noch Rheostatwiderstände enthalten mag, sei a, derjenige der Spirale b und derjenige des Nervenzweiges w. Ferner sei $\Sigma = ab + aw + bw$.

Für die Schliessung in s hat man dann die Gleichungen

$$a i_a + b i_b + q \frac{d i_b}{dt} = E \text{ und (da } i_w = i_a - i_b) \quad a i_a + w (i_a - i_b) = E,$$

woraus sich durch Elimination von i_a ergibt

$$\frac{d i_b}{dt} + \frac{\Sigma}{(a+w) q} i_b = \frac{w}{(a+w) q} E \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

also ist, wenn für $t = 0$ $i_b = 0$ (wie immer in Zweigen mit Selbstinduktion),

$$i_b = \frac{w}{\Sigma} E \left(1 - e^{-\frac{\Sigma}{(a+w) q} t}\right).$$

Hieraus lässt sich i_a und i_w ableiten, und es ist

$$i_w = \frac{b}{\Sigma} E + \frac{a w E}{(a+w) \Sigma} e^{-\frac{\Sigma}{(a+w) q} t}; \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

der Stromzweig im Nerven hat also

den Anfangswert $\frac{E}{a+w}$

und den Endwert $\frac{bE}{\Sigma}$,

d. h. der Strom im Nerven ist im Moment der Schliessung so stark,

1) Dieses Archiv Bd. 48 S. 417. 1891.

wie er sein würde, wenn die Nebenschliessung b gar nicht vorhanden wäre (dies folgt schon aus der Anfangsbedingung $i_b = 0$), und steigt auf denjenigen stationären Wert, den er sofort annimmt, wenn die Schliessung statt im Kettenkreise im Nervenkreise erfolgt.

Das zweite Glied der Gleichung (2) stellt also den Schliessungsextrastrom dar, der sich bei Schliessung in s auf den stationären Strom anfangs superponiert. Die erste Ordinate der Extrastromkurve ist von q völlig unabhängig; nur der Abfall ist um so langsamer, das Stromintegral (Elektrizitätsmenge) also um so grösser, je grösser q (bei gleichem Widerstande).

Im Hering'schen Versuch wird bekanntlich gezeigt, dass die Schliessung in s stärker reizend wirkt, als die Schliessung in s'. Der Grund liegt nach obigen Formeln darin, dass im ersteren Falle der Strom im Nerven bei der Schliessung auf $\frac{E}{a+w}$, im letzteren auf $\frac{bE}{\Sigma}$ ansteigt, und $\frac{1}{a+w} > \frac{b}{\Sigma}$.

Sucht man nun durch Variierung des Widerstandes a die Reizschwelle für beide Arten der Schliessung, so kann man ebensogut wie durch die Versuche mit Kondensatorentladungen die Frage entscheiden, ob der Effekt von der Höhe des ersten Anstiegs, von der Elektrizitätsmenge und dergl. abhängt.

Ein Versuchsbeispiel wird dies erläutern. Um ganz uniforme Schliessungen zu haben, wurden dieselben durch den Schliesskontakt des S. 119 erwähnten vierkontaktigen Helmholtz'schen Pendels hervorgebracht. Ein solcher Schliesskontakt war bei s, ein anderer bei s' eingeschaltet, jeder mit einem Absperrschlüssel, der geschlossen blieb, wenn der andere Kontakt wirken sollte.

Das erwähnte Beispiel betrifft einen Nerven, an dem unmittelbar danach der S. 139 erwähnte Kondensatorversuch ausgeführt ist.

Ischiadicus, Stromrichtung absteigend. Widerstand der Nervenstrecke $i_w = 17250\ \Omega$. Kette 2 Volt.

1. Als Induktionsrolle dient die Primärspule eines gewöhnlichen Schlitteninduktoriums, ohne Kern. Widerstand $b = 2\ \Omega$. $q = 1{,}9 \cdot 10^6$ cm. Der obere Grenzwert von a, bei dem noch Zuckung eintritt, ist

bei Schliessung in s' 74 Ω,
" " " s 174 Ω.

2. Dieselbe Spule mit Kern von feinem Blumendraht. $q = 2 \cdot 10^7$ cm. Grenzwert von a

bei Schliessung in s' 74 Ω,

" " " s 1250 Ω.

3. Sekundärspule desselben Schlitteninduktoriums, ohne Kern. Widerstand $b = 1040\ \Omega$. $q = 2 \cdot 10^9$ cm. Grenzwert von a

bei Schliessung in s' 45000 Ω,

" " " s 223000 Ω[1]).

4. Dieselbe Spule mit Eisenkernen gefüllt. $q = 1{,}4 \cdot 10^{10}$ cm. Grenzwert von a

bei Schliessung in s' 45000 Ω,

" " " s konnte mit den disponiblen Widerständen nicht erreicht werden.

Hieraus ergeben sich folgende Schwellenwerte des Stromzweiges im Nerven, in Ampère:

Versuch Nr.	Wert von q cm	Schliessung im Nervenzweige (s') (stationärer Wert)	Schliessung im Kettenzweige (s)	
			Anfangswert	stationärer Endwert
1.	$1{,}9 \cdot 10^6$ cm	$3{,}05 \cdot 10^{-6}$ A.	$114{,}8 \cdot 10^{-6}$ A.	$1{,}32 \cdot 10^{-6}$ A.
2.	$2 \cdot 10^7$ "	$3{,}05 \cdot 10^{-6}$ A.	$108{,}1 \cdot 10^{-6}$ A.	$0{,}19 \cdot 10^{-6}$ A.
3.	$2 \cdot 10^9$ "	$2{,}62 \cdot 10^{-6}$ A.	$8{,}3 \cdot 10^{-6}$ A.	$0{,}54 \cdot 10^{-6}$ A.
4.	$1{,}4 \cdot 10^{10}$ "	$2{,}62 \cdot 10^{-6}$ A.	—	—

Man erkennt aus diesen Zahlen vor allem, dass es nicht auf die Anfangsordinate ankommt, denn sonst wären die hohen Zahlen der vorletzten Kolumne, welche bis über $^1/_{10}$ Milliampère gehen, unbegreiflich. Auch könnte dann, da q auf die Anfangsordinate keinen Einfluss hat, bei hohem q der Anfangswert nicht über zwölfmal so klein sein wie bei kleinem q.

Ferner liegt, nach dem Stationärwert bemessen, die Schwelle bei Schliessung im Kettenkreise weit niedriger als bei Schliessung im Nervenzweige. Hierin zeigt sich gewissermassen numerisch die Wirkung der Selbstinduktion. Man kann nun leicht die Elektrizitätsmenge berechnen, welche dieselbe, auf den stationären Endstrom superponiert, in den Nerven ergiesst. Man braucht nur das letzte Glied der Gleichung (2) zwischen 0 und ∞ über die Zeit zu integrieren, wodurch man erhält $\frac{aw}{\Sigma^2} qE$.

1) Hier mussten Bleistiftwiderstände zu Hilfe genommen werden.

Dieser Betrag ist

in Versuch 1: 1,56 Millivolt-Mikrofarad,
„ „ 2: 1,85 „ „
„ „ 3: 1,03 „ „

Die geringe Verschiedenheit dieser Werte bei so sehr verschiedenen Versuchsbedingungen (das gleiche zeigte sich auch in vielen anderen Versuchsreihen) erscheint überraschend und könnte zu dem Schlusse verleiten, dass es wesentlich auf die Elektrizitätsmenge des Schwankungsvorganges ankommt. Unmittelbar darauf fanden sich an demselben Nerven mit einem ganz anderen Verfahren, nämlich Kondensatorentladung, nach der Tabelle S. 139, vorletzte Kolumne, sehr ähnliche Grössen, aber freilich nur bei kleiner Kapazität und hohem Potential.

Für den Öffnungs-Extrastrom haben wir nur den unteren Kreis der Fig. 16 S. 141, dessen Strom i und dessen Widerstand $(w + b) = W$ sei, und zwar ist

$$Wi + q\frac{di}{dt} = 0.$$

Als Anfangsbedingung ist aber hier einzuführen, dass der Strom der Spirale im Augenblick der Öffnung in s den stationären Wert von i_b im vorigen Falle hat, d. h. es ist für $t = 0$ $i = \frac{wE}{\Sigma}$. Hieraus ergibt sich

$$i = \frac{wE}{\Sigma} e^{-\frac{W}{q}t}.$$

Die enorm heftige physiologische Wirkung der Öffnung rührt also davon her, dass der starke Stromzweig der Spirale einen Augenblick in voller Stärke durch den Nerven geht.

Für den Unterricht ist es also zweckmässig, die physiologische Wirkung der Extraströme folgendermassen darzustellen: Von dem Kettenstrom, Fig. 16, geht wegen der gut leitenden Nebenschliessung (durch die Spirale) nur ein kleiner Anteil stationär durch den Nerven. Bei der Schliessung aber geht im ersten Moment so viel Strom durch den Nerven, als wenn die Nebenschliessung nicht vorhanden wäre. Bei der Öffnung geht im ersten Moment derselbe starke Strom durch den Nerven, welcher während der Schliessungszeit durch die Spirale ging. In den Lehrbüchern fehlten bisher diese einfachen Sätze.

(Aus der physiol.-chem. Abteilung der tierärztl. Hochschule zu Dresden.
Geh. Med.-Rat Prof. Dr. Ellenberger.)

Über den Einfluss der Körperbewegung auf die Verdauung und Nährstoffabsorption des Pferdes.

Von

Arthur Scheunert.

Die Frage, ob und in welcher Weise die Körperbewegung einen Einfluss auf die Verdauungsvorgänge auszuüben vermag, beansprucht sowohl in theoretischer als auch in praktischer Beziehung das grösste Interesse. Trotzdem ist diese Frage nur von relativ wenigen Forschern einer gründlichen Prüfung unterzogen worden, und fast alle derartigen Untersuchungen beziehen sich nur auf den Menschen und den Hund. Grössere Versuchsreihen liegen überhaupt nicht vor, obwohl dieselben im Hinblick auf die grossen individuellen Verschiedenheiten, welche Menschen und Tiere gerade bezüglich ihrer Verdauungsvorgänge darbieten, notwendig gewesen wären. Die bisher ausgeführten Untersuchungen haben zu so verschiedenen und teilweise widersprechenden Resultaten geführt, dass die von den meisten Autoren vertretene Anschauung, die dahin geht, dass die Verdauung durch die Körperbewegung ungünstig beeinflusst wird, wohl mehr auf alten Traditionen beruht, als auf den festen Grundlagen exakter, experimenteller Forschung aufgebaut sein dürfte. Während einige Forscher, welche Versuche über die uns hier beschäftigende Frage angestellt haben, eine Beeinflussung der Verdauungsvorgänge durch körperliche Bewegung nicht festzustellen vermochten (Forster, Streng, Rosenberg, E. Wolff), glaubten andere eine hemmende Wirkung annehmen zu müssen (Villain, J. Cohn, Spirig, Salvioli, Grandeau und Leclerc usw.). Eine vollständige Zusammenfassung der betreffenden Literatur findet man in der Arbeit von Tangl[1]): „Über den Einfluss der Körper-

1) Pflüger's Arch. Bd. 63 S. 545.

bewegung auf die Magenverdauung", die im Jahre 1896 erschienen ist. Es sei hiermit auf dieselbe verwiesen, da es unnötig erscheint, die fraglichen Literaturangaben hier nochmals zu besprechen.

Tangl schreibt am Schlusse seiner Literaturübersicht[1]): „Aus dieser Übersicht dürfte es zur Genüge hervorgehen, dass wir über den Einfluss der Körperbewegung auf die Verdauung kaum etwas Bestimmtes wissen, weder was die Gesamtausnutzung der Nahrung noch was die verschiedenen Verdauungsvorgänge in den einzelnen Abteilungen des Magen-Darmkanals betrifft. Einerseits gelangten die verschiedenen Forscher bei derselben Tiergattung zu widersprechenden Resultaten, anderseits ist es ja noch gar nicht festgestellt, wie weit man in dieser Frage von einer Tierspezies auf eine andere folgern kann, da unsere diesbezüglichen vergleichend physiologischen Kenntnisse noch ziemlich lückenhaft sind."

Nächst dieser Arbeit Tangl's, die als ursächlich mit der vorliegenden zusammenhängend einer genaueren Besprechung im folgenden unterzogen werden soll, ist aus der neueren Literatur noch eine Angabe von Loewy[2]) zu erwähnen, welcher fand, dass beim Marschieren, also bei Bewegung, die Resorption im Dünndarm und damit die Ausnutzung der Nahrung in jeder Weise befördert wird. Eine neuere spezielle Bearbeitung der Frage scheint nach der zugänglichen Literatur nicht erfolgt zu sein, auch in den neueren Lehr- und Handbüchern der Physiologie finden sich teils gar keine, teils widersprechende Angaben.

Im hiesigen physiologischen Institute sind bekanntlich eingehende Untersuchungen über die Verdauung und Verdauungssäfte der Haussäugetiere, deren Ergebnisse in zahlreichen Artikeln niedergelegt sind, vorgenommen worden. Gelegentlich dieser Untersuchungen sollte auch der Einfluss studiert werden, welchen Körperbewegungen auf die Verdauungsvorgänge und die Bewegungen des Magens und Darmkanals der Haustiere ausüben. Auf Veranlassung des Institutsvorstehers (Prof. Ellenberger) stellte Tangl im Hinblick auf die Unklarheit, welche bezüglich dieser Frage herrscht, im hiesigen Institut behufs Studiums des Einflusses der Körperbewegung auf die Verdauung eine Anzahl Versuche an.

---

1) Pflüger's Arch. Bd. 63 S. 550.

2) A. Loewy, Beiträge zum Stoff- und Energieumsatz des Menschen. Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1901 S. 299, 364.

Als Versuchstier wurde das Pferd, also ein reiner Pflanzenfresser gewählt, während die früheren Untersucher, wie erwähnt, Carni- oder Omnivoren zu ihren Versuchen benutzt hatten. Tangl verwandte im ganzen zehn Pferde, konnte aber die Untersuchungen nicht bei allen Tieren vollständig durchführen[1]).

---

1) In dieser Beziehung mag von mir folgendes bemerkt sein: Aus den oben dargelegten Gründen liess ich 1895 die von Tangl begonnenen, aber nicht zum Abschlusse gelangten Versuche durch meinen damaligen Assistenten, den Chemiker Dr. Seeliger wieder aufnehmen. Leider musste auch dieser die Untersuchungen wegen seiner Berufung in eine andere Stelle abbrechen. Gleiches trat bei seinen Nachfolgern, den Chemikern Dr. Klimmer und Dr. Bengen ein, welche auf meinen Wunsch neben anderen Untersuchungen ebenfalls einige Versuche über den Einfluss der Körperbewegung auf die Verdauung der Pferde durchführten, ohne aber, infolge ihrer zu frühzeitigen Abberufung aus ihrer Stellung, in meinem Institute einen Abschluss herbeiführen zu können.

Der Verfasser des vorliegenden Artikels, der Chemiker Dr. Scheunert, hat zur Ergänzung und Kontrolle der früheren Versuche von neuem eine Reihe einschlagender Versuche mit Pferden ausgeführt und alle notwendigen Ergänzungsuntersuchungen vorgenommen. Er hat sich sodann der zeitraubenden, mühe- und verdienstvollen Arbeit unterzogen, das vorliegende grosse Material zu sichten, die ungemein zahlreichen Analysen seiner Vorgänger durchzurechnen, das Material sachgemäss zusammenzustellen und die Ergebnisse seiner Untersuchungen und Arbeiten und diejenigen seiner Vorgänger in der vorliegenden Abhandlung niederzulegen.

Obgleich 33 Pferde zu unseren Untersuchungen verwendet wurden, sind doch noch manche Fragen ungelöst geblieben und zeigt unsere Versuchsreihe noch manche Lücke. Trotzdem musste ich die Untersuchungen abschliessen lassen, weil mir die Mittel und die Arbeitskräfte zur Fortsetzung derselben fehlen. Ausserdem dürfte noch von keiner Seite in gleich ausgedehnter Weise die vorliegende Frage experimentell geprüft worden sein. Die Untersuchungen waren sehr zeitraubend und boten eigenartige Schwierigkeiten, die noch dadurch erheblich vermehrt wurden, dass sich die Versuche auf viele Jahre erstreckten, dass die untersuchenden Chemiker, die sich stets zunächst die nötige Übung in diesen Untersuchungen aneignen mussten, so oft wechselten und dass das Versuchsfutter (der Hafer) immer von neuem analysiert werden musste, und zwar deshalb, weil zu den jedesmaligen neuen Versuchen entweder anderer Hafer angekauft worden war, oder weil der vorhandene so lange gelegen und sich dabei so verändert hatte, dass neue Analysen desselben unbedingt nötig waren. Dazu kam, dass auch die Beschaffung geeigneter Versuchstiere zuweilen mit grossen Schwierigkeiten verbunden war. Die erwähnten Umstände und die weitere Tatsache, dass mir nur immer ein einziger Chemiker zur Verfügung stand, der ausserdem alle anderen chemischen Arbeiten im Institute auszuführen hatte und bei den Unterrichtskursen tätig sein musste, erklären es, dass eine lange Reihe von Jahren nötig war, um die Untersuchungen zu einem einigermassen befriedigenden Abschlusse zu bringen. Ellenberger.

Die Methode der Tangl'schen Untersuchung ist dieselbe, wie sie in den achtziger und neunziger Jahren von Ellenberger und Hofmeister bei ihren umfassenden Untersuchungen über die gesamten Verdauungsvorgänge der Haustiere ausgearbeitet worden ist.

Durch geeignete Fütterung und 36stündiges Hungern wurde dafür gesorgt, dass Magen und Dünndarm frei von Resten früherer Mahlzeiten und vor allem frei von dem als Versuchsfutter benutzten Nahrungsmittel waren. Dann bekamen die Tiere die Versuchsmahlzeit, aus analysiertem Hafer bestehend, vorgelegt und wurden nach beendeter Nahrungsaufnahme entweder eine Stunde ruhen gelassen oder dieselbe Zeit im Schritt und Trab, seltener kurze Zeit auch im Galopp bewegt und dann getötet. Magen und Dünndarm wurden hierauf so rasch als möglich unterbunden, exenteriert und rasch derart abgekühlt, dass weitere Verdauungsvorgänge nicht mehr ablaufen konnten; dann gelangte der Mageninhalt zur Untersuchung, und zwar wurden Reaktion, gelöste und ungelöste Stoffe, Rohfaser und bei zwei Versuchstieren die gelösten und ungelösten Kohlehydrate bestimmt. Diese Versuche lieferten ganz überraschende und den bisherigen, herrschenden Anschauungen widersprechende Ergebnisse. Zunächst zeigte sich, dass beim Pferde die Körperbewegung die Entleerung des Magens nach dem Darm beträchtlich verlangsamt und die Wassersekretion der Magenschleimhaut steigert. Als eine Folge dieser verzögerten Entleerung machten es die zwei in dieser Richtung ausgeführten Versuche wahrscheinlich, dass die Kohlehydratverdauung beim bewegten Pferde rascher fortschreitet als beim ruhenden.

Die auf die Kohlehydratverdauung bezüglichen Schlüsse gründen sich nur auf die Beobachtungen an zwei Versuchstieren, und ausserdem beziehen sich sämtliche Versuche nur auf die erste oder, wenn man die Dauer der Mahlzeit mitrechnet, höchstens auf die zwei ersten Verdauungsstunden, also auf einen Zeitabschnitt, in dem, wie Ellenberger und Hofmeister[1]) nachgewiesen haben, die Magenverdauung sich nur oder hauptsächlich in ihrer ersten der rein amylolytischen und der vorherrschend amylolytischen Periode befindet. Auf die Verdauung des Eiweisses erstrecken sich die Tangl'schen

---

1) Ellenberger und Hofmeister, Über die Verdauungssäfte und die Verdauung des Pferdes. III. Arch. f. prakt. u. wissensch. Tierheilk. Bd. 8 S. 28. 1882.

Untersuchungen überhaupt nicht. Tangl war leider infolge äusserer Umstände verhindert worden, die begonnenen Unsersuchungen zu einem befriedigenden Abschlusse zu bringen und konnte, wie aus dem Vorstehenden ersichtlich, nur wenige der angestellten Versuche vollständig durchführen. Er betont in seiner Abhandlung selbst, dass seine Versuchsreihe zu klein und zu unvollständig sei, um weitgehende Schlussfolgerungen aus derselben zu ziehen.

Um nun die überraschenden Tangl'schen Ergebnisse einer Kontrolle zu unterziehen und ihre Gültigkeit auch für die weiteren Verdauungsstunden festzulegen, und um noch andere von Tangl unberücksichtigt gelassene oder ungenügend beachtete Fragen zu prüfen und die Frage nach der Einwirkung der Bewegung auf die Verdauung des Pferdes ihrer endgültigen Lösung näher zu bringen, sind die einschlägigen Versuche auf Veranlassung von Herrn Geheimrat Ellenberger im hiesigen Institut fortgesetzt worden. Der Versuchsplan hat dabei eine bedeutende Erweiterung erfahren, indem die Versuche nicht allein bis zur 5. resp. 5½—6. Stunde nach der Nahrungsaufnahme ausgedehnt, sondern auch, die Verdauungsvorgänge im Dünndarm und die Resorptionsvorgänge in den Kreis der Untersuchung gezogen wurden.

Es stellte sich bald heraus, dass infolge der individuellen Verschiedenheiten der Versuchstiere und infolge von Schwierigkeiten, die ihren Grund in den grossen Fehlergrenzen und -quellen haben, denen infolge der Versuchsanordnung die chemischen Arbeitsmethoden ausgesetzt sind, oft grosse Schwankungen in den Versuchsresultaten hervortraten, allgemein gültige Schlüsse also nur auf Grund zahlreicher Versuche gezogen werden konnten. Es sind daher bis jetzt ausser den Tangl'schen Versuchspferden von uns noch weitere 23 Pferde, im ganzen also 33 Pferde zu den fraglichen Versuchen in unserem Institute verwendet worden. Obgleich trotz des umfangreichen Materials eine weitere Fortsetzung derselben erwünscht wäre, hat mich Herr Geheimrat Ellenberger beauftragt, dieselben abzuschliessen und über ihre Ergebnisse zu berichten, da wir zu der Überzeugung gekommen sind, dass die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen durch die grosse Zahl der angestellten Versuche genügend begründet sind, um aus denselben gewisse sichere Schlüsse ziehen zu können, die einen nicht unwesentlichen Beitrag zur Lösung der Frage liefern dürften. Ausserdem glauben wir aber, dass eine endgültige Lösung auf der Basis der von uns

eingeschlagenen und innegehaltenen Untersuchungsmethode nur unter grossen Schwierigkeiten, d. h. durch lange währende und kostspielige Versuchsreihen erreicht werden könnte. Es mag auch noch erwähnt werden, dass eine Ausdehnung der Versuche auf spätere Verdauungsstunden vom theoretischen Standpunkte aus wohl das Interesse in Anspruch nehmen kann. Praktisch wäre dies aber ohne Bedeutung, da weder Menschen noch Tiere unter gewöhnlichen Verhältnissen länger als fünf Stunden bewegt werden, ohne dass eine Ruhepause mit Einnahme von Nahrungsmitteln eingeschoben wird.

Untersuchungsmethoden.

Der Gang der Untersuchung schloss sich eng an den von Ellenberger und Hofmeister[1]) ausgearbeiteten und auch von Tangl benutzten an und sei infolgedessen hier nur in aller Kürze so geschildert, wie ich die Versuche vorgenommen habe und wie dieselben im wesentlichen auch von meinen Vorgängern ausgeführt worden sind.

Die Versuchspferde waren kräftige, aber relativ alte Tiere, die nur dann zur Verwendung gelangten, wenn durch sorgfältige Beobachtung ihre vollkommene Gesundheit festgestellt war. Auch bei der Sektion wurden die Tiere nachträglich noch auf ihren Gesundheitszustand geprüft. Ich möchte besonders hervorheben, dass nicht etwa die zu ähnlichen Versuchen häufig benutzten sogenannten Anatomiepferde verwendet, sondern stets bessere Schlachtpferde der Pferdeschlächterei angekauft wurden. Da sich im Laufe der Versuche herausstellte, dass die Verdauung durch Alter und Kraft des betreffenden Tieres ausserordentlich beeinflusst wird, wurde besonderer Wert auf die Anschaffung möglichst gleichaltriger und gleichkräftiger Tiere gelegt. Aus ähnlichen Gründen erhielten die Tiere zunächst eine Mahlzeit aus reinem Hafer vorgesetzt, um die Art und Weise der Aufnahme dieses Futtermittels: Kauen, Speicheln, Schlingen und Geschwindigkeit des Fressens zu beobachten. Die Tiere wurden dann, falls sich Anormalitäten nicht herausstellten, in den Stallungen des Institutes zur weiteren Beobachtung einige Tage bei normaler Fütterung gehalten. Zur Vorbereitung zum eigentlichen Versuch

1) Über die Verdauung und Verdauungssäfte des Pferdes. Arch. f. wissensch. u. prakt. Tierheilk. Bd. 7—12.

erhielten sie zunächst nur Heu in reichlicher Menge, um den Verdauungsschlauch frei von Resten des Hafers zu machen. Darauf wurde ihnen während 36 Stunden, also während einer Zeit, die nach den Beobachtungen von Ellenberger[1]) unbedingt erforderlich ist, um Magen und Dünndarm von Resten früherer Mahlzeiten zu entleeren, nur Wasser angeboten, welches die Tiere allerdings nur in geringen Mengen oder gar nicht zu sich nahmen. Während der Hunger- und Heuperiode war die Streu aus dem Stande entfernt, während des Hungerns wurden die Pferde ausserdem kurz gehängt und alle von ihnen mit dem Maule erreichbaren Teile des Standes peinlich sauber gehalten. Holzteile wurden mit Eisenblech beschlagen. Dies alles geschah, um zu verhindern, dass die Tiere fremde, die Versuche störende Stoffe aufnahmen, was ohne die Beobachtung dieser Vorsichtsmassregeln sicher geschieht. Die Versuchsmahlzeit bestand anfänglich aus 2000 g eines analysierten Hafers; da diese aber von einigen Pferden nicht vollständig verzehrt wurden und bei dem Abrechnen der in der Krippe zurückgelassenen, lufttrocken gemachten Haferreste sich für die Menge des aufgenommenen Hafers Zahlen ergaben, die die Übersicht und die Berechnung erschwerten, so wurden später nur 1500 g Hafer verabreicht. Diese wurden, abgesehen von einem Pferd (7). stets vollständig aufgenommen. Während des Fressens wurde das Pferd genau beobachtet, Dauer der Nahrungsaufnahme und andere Beobachtungen notiert und Futterverluste durch Anwesenheit einer geeigneten Persönlichkeit verhindert. Nach beendeter Nahrungsaufnahme, die meist 20—30, selten bis 40 Mintenu in Anspruch nahm, blieben die Tiere entweder ruhig im Stande stehen oder sie wurden sofort bewegt, was teils durch Longieren im Trab, teils unter dem Reiter geschah. Unnötige Aufregung des Versuchspferdes wurde hierbei streng vermieden und bei den länger als eine Stunde bewegten Tieren Ruhepausen von 10—25 Minuten eingeschoben.

Nach genau 1, 2, 3, 4, 5 Stunden Ruhe oder Bewegung nach beendigter Nahrungsaufnahme erfolgte die Tötung des Tieres im Institut durch Erschiessen mit einem Schussapparat nach Stahel-Stoff und nach folgendem Verbluten. Um ein Übertreten von Mageninhalt in den Darm, respektive vom Dünndarminhalt in das Caecum durch die während der Agonie stets beobachtete lebhafte Magenbewegung

1) Arch. f. wissenschaftl. u. prakt. Tierheilk. Bd. 5 S. 434.

und Darmperistaltik zu vermeiden, wurde bei sieben Pferden die Bauchhöhle sofort geöffnet und rasch der Magen am Pylorus und der Dünndarm am distalen Ende des Ileums abgebunden und dann erst Verblutung herbeigeführt. Infolge der immerhin nicht unschwierigen und nicht ungefährlichen Ausführung dieser Manipulationen wurde späterhin bei den anderen Pferden das Öffnen der Bauchhöhle und Unterbinden erst unmittelbar nach dem Verbluten ausgeführt. Ferner wurde der Dünndarm durch Unterbindungen in 1—2 m lange Abschnitte zerlegt, alsdann Magen und Dünndarm exenteriert und sofort in Eiswasser gelegt, um die Verdauungsvorgänge zu sistieren. Bei genügender Übung können diese sämtlichen Manipulationen in wenigen Minuten ausgeführt werden. Das Abteilen des Dünndarms in einzelne Abschnitte geschah, um erhebliche postmortale Verschiebungen des Darminhaltes, die durch die überlebenden peristaltischen Bewegungen des Darmes erfolgen konnten, zu verhindern und um feststellen zu können, bis wohin das Versuchsfutter gelangt, welcher Teil des Darmes also zu untersuchen war.

Nach dem Erkalten wurden Magen und Darm geöffnet, die Inhalte genau auf Reaktion und sonstige Beschaffenheit geprüft und gewogen. Durch sorgfältiges Abstreifen der Nahrungsreste von der Schleimhaut wurde ein möglichst quantitatives Arbeiten angestrebt. Sofort schloss sich hieran die chemische Verarbeitung an, die sich in folgender Weise gestaltete:

Magen- sowie Darminhalt werden durch kräftiges Umrühren so gut als möglich gemischt und aus ihnen Mittelproben entnommen, die zur Bestimmung der Trockensubstanz verwendet werden. Ebensolche Mittelproben (ca. 50—80 g), die übrigens teilweise, infolge der grossen Mengen (bis 9000 g), recht schwierig zu erhalten sind, werden im Eisschrank durch gewogene Filter filtriert und mit Eiswasser so lange ausgewaschen, bis das Filtrat ohne Rückstand auf dem Platinblech verdampft. Durch Trocknen des Filters und Bestimmung des Rückstandes berechnen sich leicht die in der angewandten Menge vorhandenen ungelösten Anteile und somit auch das Verhältnis, in dem sich das Ungelöste zum Gelösten in den Gesamtinhalten befindet[1]).

1) Diese Methode ist infolge der Schwierigkeit beim Entnehmen der Mittelprobe, sowie durch das oft mehrere Tage währende Auswaschen, welches trotz des Eisschrankes eine Bakterienwirkung meist zur Folge hat, sehr grossen Fehler-

Zur weiteren Analyse wurden einesteils Mittelproben des Gesamt-Magen- und Darminhaltes auf dem Wasserbade eingetrocknet, anderenteils andere Proben durch Kolieren und Filtrieren in ihre gelösten und ungelösten Anteile getrennt. Die gelösten Teile gelangten sofort zur weiteren Analyse, die ungelösten Mengen wurden auf dem Wasserbade eingetrocknet und ebenso wie die getrockneten Gesamtinhalte auf einer Maerker'schen Mühle fein gemahlen und zur Analyse aufbewahrt. Während sich die Analyse der gelösten Anteile nur auf Bestimmung von Trockensubstanz, Gesamt-Kohlehydraten und Eiweiss beschränkte, wurde in den festen Teilen neben diesen auch noch die Rohfaser bestimmt. Zur Anwendung gelangten die bekannten Methoden. Die Eiweissmenge wurde aus der nach dem Kjeldahl'schen Verfahren ermittelten Stickstoffmenge in bekannter Weise berechnet. Die Bestimmungen der Gesamt-Kohlehydrate erfolgte nach der allgemein üblichen Methode: Aufschluss der Substanz im Soxhlet'schen Dampftopf mit anschliessender Inversion in 2 1/2 %iger salzsaurer Lösung. Die gebildete Dextrose wurde nach dem Allihn'schen Verfahren bestimmt und die Gesamt-Kohlehydrate als Dextrose berechnet.

Da gerade die Rohfaser als der im Magen und Dünndarm absolut unverdauliche Bestandteil des Futtermittels bei der Berechnung der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit eine ganz besonders wichtige Rolle spielt, habe ich verschiedentlich versucht, die Methode ihrer Bestimmung, das sog. Weender-Verfahren, durch eine genauere und mit geringeren Fehlerquellen behaftete zu ersetzen. Die Hoffnung, in der kürzlich von Simon und Lohrisch[1]) empfohlenen Zellulosebestimmung eine genaue und auch bequem zu handhabende Methode zu finden, hat sich leider nicht erfüllt. Die Angaben der

---

quellen ausgesetzt. Die ganze umständliche Manipulation lässt sich durch eine einfache Berechnung ersetzen, die hier kurz geschildert sein soll.

Der Gesamtinhalt (Magen oder Darm) enthält, wie aus der Trockensubstanzbestimmung leicht zu berechnen ist, eine Menge a g Wasser. Diese Wassermenge enthält bestimmte Mengen der Trockensubstanz gelöst und bildet so die gelösten Anteile des Inhaltes. Von dieser Lösung enthält eine bestimmte Gewichtsmenge b ein leicht zu bestimmendes Gewicht c an Trockensubstanz. Es verhält sich dann: Gewicht des in b g enthaltenen Wassers, also $(b-c)$, zu Gewicht der darin enthaltenen Trockensubstanz, also c, wie Gewicht des Wassers im gesamten Inhalt a zum Gewicht der darin enthaltenen Trockensubstanz x oder $(b-c) : c = a : x$; hieraus lässt sich x leicht berechnen.

1) Zeitschr. f. physiol. Chem. Bd. 42 S. 55.

beiden Autoren sind zu unbestimmt, als dass sich eine genaue Wiederholung ihrer Arbeitsweise erreichen liesse. Ausserdem wurden aber bei etwa zwanzig von mir und von anderer Seite ausgeführten Bestimmungen weder die restierende Zellulose „als schneeweisses, sich filzig anfühlendes Pulver“ erhalten, noch konnten Resultate in auch nur einigermassen befriedigender Übereinstimmung erzielt werden. Die Rohfaserbestimmungen sind daher nach dem Weender-Verfahren ausgeführt worden, welches allerdings in der von einigen landwirtschaftlichen Versuchsstationen schon lange angewandten Weise dahin abgeändert wurde, dass die Trennung des Rückstandes nach dem Kochen mit Säure, Wasser und Kalilauge von der Flüssigkeit nicht durch Absetzenlassen und Abhebern oder langwierige Filtration, sondern durch Absaugen durch doppeltes, feinstes Koliertuch erfolgte. Diese Arbeitsweise ermöglicht eine bedeutende Zeitersparnis und liefert genügend übereinstimmende Resultate.

Obgleich es wünschenswert wäre, die einzelnen Versuchsprotokolle hier wiederzugeben, erscheint es doch geboten, infolge der grossen Ausdehnung des Materials hiervon abzusehen und nur einige orientierende Bemerkungen einzufügen. Von den 23 Versuchspferden ruhten 14, während 9 nach der Nahrungsaufnahme bewegt wurden. 7 Tiere wurden eine Stunde, ebenfalls 7 zwei Stunden, 4 Tiere drei Stunden und je 2 Tiere vier und fünf Stunden nach beendeter Nahrungsaufnahme getötet. Nicht immer war es möglich, sämtliche analytische Bestimmungen auszuführen, da manchmal Zwischenfälle eintraten, die bei einzelnen Versuchstieren gewisse Bestimmungen vereitelten. Diese Fälle sollen bei der Besprechung der einzelnen Resultate näher geschildert werden. Pferd 23 musste, da es an einem Magenkatarrh litt, überhaupt ausgeschalten werden. Ferner konnte auch infolge der grossen Ausdehnung und langen Dauer der Versuche nicht bei allen Tieren derselbe Hafer als Versuchsfutter verabreicht werden. Da nun die Verdaulichkeit eines Futtermittels von seiner chemischen Zusammensetzung abhängig ist, so werden streng genommen nur die Resultate der Tiere, die denselben Hafer erhielten, untereinander vergleichbar sein. In den folgenden Tabellen sind daher diese einander entsprechenden Versuche (Ruhe und Bewegung) stets nebeneinander gestellt worden.

I. Beeinflussung der Quantität, des Wassergehaltes und der Schichtung des Mageninhaltes.

Um zunächst einen ganz allgemeinen Überblick über das Verhältnis der Magenverdauung der ruhenden zu dem der bewegten Pferde zu erhalten und weitere Gesichtspunkte zu gewinnen, wenden wir uns zur Betrachtung der Gewichtsverhältnisse der einzelnen Mageninhalte.

In der folgenden Tabelle sind die Verhältnisse der Gewichte des Mageninhaltes zum Gewicht des verfütterten Hafers zusammengestellt, wobei von den Komplikationen, die durch Weiterbeförderung der Ingesta in den Darm, durch Verdauung und Resorption in den späteren Stunden entstehen, ganz abgesehen werden soll.

Tabelle I.

Verdauungsstunde	Ruhe					Bewegung				
	Nummer	Gewicht des Mageninhaltes g	Gewicht des verfüttert. Hafers g	Verhältnis d. Mageninhaltes zum Hafer	Mittel	Nummer	Gewicht des Mageninhaltes g	Gewicht des verfüttert. Hafers g	Verhältnis d. Mageninhaltes zum Hafer	Mittel
1—1½	1	3640	2000	1,82 : 1	2,11 : 1	5	3550	1580	2,25 : 1	2,68 : 1
	2	4100	2000	2,05 : 1						
	3	3200	1500	2,13 : 1		6	4900	1500	3,27 : 1	
	4	3364	1500	2,24 : 1		7	3540	1430	2,50 : 1	
2 –2½	8	3970	2000	1,98 : 1	1,99 : 1	12	4940	2000	2,50 : 1	2,59 : 1
	9	3830	2000	1,92 : 1						
	10	2920	1500	1,95 : 1		13	4030	1500	2,70 : 1	
	11	3165	1500	2,10 : 1		14	2975	1500	1,98 : 1	
3 – 4	15	3520	2000	1,76 : 1	1,8 : 1					
	16	3135	1500	2,09 : 1		18	2955	1500	1,97 : 1	2,05 : 1
	17	2320	1500	1,55 : 1		20	3175	1500	2,12 : 1	
5—5½	21	2905	1500	1,94 : 1	1,94 : 1	22	3950	1500	2,63 : 1	2,63 : 1

Zunächst zeigt die Tabelle, dass tatsächlich der Umstand, dass die Verdauung im Stadium der Ruhe oder der Körperbewegung abläuft, bis in die späteren Verdauungsstunden (5—6) einen ganz erheblichen Einfluss auf die Magenverdauung ausüben muss, da regelmässig wiederkehrende, deutliche Unterschiede bezüglich der Inhaltsmengen des Magens auftreten. Sie zeigt ferner, dass das Verhältnis des Mageninhaltes zum verfütterten Hafer bei den bewegten Pferden stets grösser ist als bei den ruhenden, und zwar beträgt das Gewicht des Mageninhaltes eines ruhenden Pferdes ungefähr das Doppelte des verfütterten Hafers, während es beim bewegten Pferde das

2,5fache meist erreicht. Für die Erklärung dieser Tatsache kommen mehrere Möglichkeiten in Betracht. Einmal kann durch die Körperbewegung eine hemmende Wirkung auf die Magenmuskulatur und dadurch eine Verlangsamung der Weiterbeförderung des Mageninhaltes in den Darm ausgeübt worden sein. Weiter kann aber auch die Körperbewegung eine vermehrte Wassersekretion der Magenschleimhaut verursacht und dadurch zur Erhöhung des Inhaltsgewichtes beigetragen haben. Endlich kann auch, wenn man dem Magen eine gewisse, von manchen Autoren geleugnete Resorptionskraft zuschreibt, die Bewegung verlangsamend auf die Aufsaugung im Magen eingewirkt haben.

Wenn wir die Tatsache, dass der Mageninhalt bei bewegten Pferden und bei Aufnahme gleicher Mengen des Nahrungsmittels erheblich grösser ist als bei ruhenden, erklären wollen, so müssen wir die erwähnten Fragen beantworten. Schon Tangl hat zur Erklärung dieser Tatsachen in seiner oben besprochenen Arbeit für die erste Verdauungsstunde wertvolle Beiträge geliefert.

Über den Einfluss der Körperbewegung auf die Motilität des Magens, d. h. auf die Weiterbeförderung der Mageninhaltsteile des Pferdes in den Darm, liegen bereits Beobachtungen von Colin[1]) vor, die dieser an zwei respektive einem Individuum gemacht hat. Colin nimmt auf Grund seiner Beobachtungen an, dass die Körperbewegung die Bewegung der Magenmuskulatur anrege und eine Beförderung des Mageninhaltes in den Darm beschleunige. Diese Angabe Colin's stimmt mit den herrschenden Anschauungen überein und steht im Einklang mit den Beobachtungen, die Salvioli[2]) am Hund und Spirig[3]) am Menschen gemacht haben. Auf Grund seiner Untersuchungen kommt Tangl[4]) hingegen zur entgegengesetzten Anschauung, dass also die Motilität des Magens nicht etwa befördert wird, sondern die Körperbewegung einen hemmenden Einfluss auf sie ausübt. Es erscheint von vornherein nicht unwichtig, dieses Ergebnis nicht nur an der Hand neuer Versuche zu kontrollieren, sondern auch seine Gültigkeit für die späteren Verdauungsstunden

1) Traité de la physiologie comparée des animaux vol. I p. 822. Paris 1886.

2) Influence de la fatigue sur la digestion stomacale. Arch. ital. de biol. t. 17 p. 248.

3) Über den Einfluss von Ruhe, mässiger Bewegung und körperlicher Arbeit auf die normale Magenverdauung des Menschen. Inaug.-Diss. Bern 1892.

4) Pflüger's Arch. Bd. 63 S. 558.

zu prüfen. Um so mehr erscheint dies erforderlich, als Colin seine Beobachtungen an zwei Pferden machte, von denen das eine sechs Stunden bewegt worden war, während das andere die gleiche Zeit geruht hatte, Tangl's Schlussfolgerung aber nur auf Versuchen basiert, die mit Pferden von nur 1—1½ stündiger Verdauungszeit angestellt waren.

Tabelle II.

Verdauungszeit post pabulum und Körperbewegung	Nr.	Verfütterte Rohfaser g	Hiervon in den Darm übergetreten g	%	Mittelwert	Ist Hafer im Blinddarm nachzuweisen?
1 Stde. Ruhe	1	208,9	44,6	21,4	27,1	—
	2	208,9	45,5	21,8		—
	3	178,3	55,6	31,2		—
	4	219	43,4	19,8		—
1 Stde. Bewegung	5	165	11,8	7,2	5,4	—
	6	178,3	1,6	0,9		—
	7	204	16,8	8,2		—
2 Stdn. Ruhe	8	208,9	30,4	14,6	17,8	—
	10	178,3	37,1	20,8		vereinz. Körner
	11	158,6	28,9	18,2		—
2 Stdn. Bewegung	12	208,9	38,1	18,2	16,9	—
	13	178,2	27,8	15,6		—
3 Stdn. Ruhe	15	208,9	42,6	20,9	26,8	—
	16	158,6	33,6	21,2		—
	17	158,6	60,7	38,3		—
3 Stdn. Bewegung	18	158,6	38,5	24,3	24,3	—
4 Stdn. Ruhe	19	158,6	—	—	—	deutlich
4 Stdn. Bewegung	20	158,6	14,1	8,9	8,9	—
5 Sdtn. Ruhe	21	158,6	22,1	13,9	13,9	deutlich
5 Stdn. Bewegung	22	158,6	17,6	11,1	11,1	deutlich

Bei Pferd 9, 19 und 23 wurden Rohfaserbestimmungen nicht ausgeführt. Pferd 14 wird besonders abgehandelt.

Die Zahlen der vorstehenden Tabelle, die die Resultate der neuen Versuchsreihe veranschaulicht, sind nach denselben Grundsätzen, wie sie Ellenberger und Hofmeister und auch Tangl als gültig angesehen haben, berechnet worden. Den festen Anhaltspunkt für die Menge des verfütterten Hafers, die sich noch in Magen und Darm zu der betreffenden Verdauungsstunde vorfindet, bietet die im Magen und Dünndarm absolut unverdauliche Rohfaser. In der Differenz aus der mit dem verfütterten Hafer aufgenommenen und der im Mageninhalt vorgefundenen Rohfasermenge ist also stets ein genaues Mass der Rohfaser und somit auch des Hafers gegeben,

die in den Darm bereits übergetreten sind. Allerdings muss man als feststehend annehmen, dass das Fortrücken des Inhaltes vollkommen gleichmässig erfolgt, eine Annahme, die sich aus den Arbeiten von Ellenberger und Hofmeister ergibt und die auch von Tangl[1]) für die erste Verdauungsstunde einwandfrei nachgewiesen ist, und auf deren Begründung auch auf Grund der vorliegenden Versuche näher eingegangen werden soll.

Die Tabelle bestätigt zunächst die unbedingte Richtigkeit der Tangl'schen Anschauung für die erste Verdauungsstunde. Während beim ruhenden Pferd in dieser Zeit von der verfütterten Rohfaser im Mittel 27,1 %, sind beim bewegten nur 5,4 % derselben in den Darm übergetreten, die Weiterbeförderung des Inhaltes geht also bei Ruhe um das Fünffache rascher als bei Bewegung vor sich. Die weitere Betrachtung der Tabelle lehrt, dass auch in den späteren Verdauungsstunden die Weiterbeförderung des Mageninhaltes durch die Körperbewegung verlangsamt wird. Allerdings treten die Unterschiede bei weitem nicht mehr so deutlich hervor, es scheint sich vielmehr in den späteren Stunden ein allmählicher Ausgleich herzustellen, wobei jedoch noch bis in die fünfte Stunde eine geringe Verminderung der Motilität wahrzunehmen ist. Der Grund hierfür kann einerseits darin liegen, dass der Organismus das Bestreben hat, die durch die Körperbewegung im Anfange der Verdauung hervorgerufenen Verhältnisse zu beseitigen, andererseits ist es aber nicht unwahrscheinlich, dass der Grund in der individuellen Veranlagung der Tiere zu suchen ist. Bei einer längeren Verdauungsperiode wird diese in viel stärkerem Masse zum Ausdruck gelangen und die Analysenresultate beeinflussen können als in der verhältnismässig kurzen Zeit von einer Stunde. Für diese Erklärung, die übrigens auch durch die Erfahrungen Goldschmidt's[2]) bestätigt wird, bietet die Betrachtung der Resultate des Versuchs Nr. 14 ein treffendes Beispiel. Versuchspferd 14 war nur 9 Jahre alt, also ein junges und kräftiges Tier, erhielt unter den üblichen Bedingungen 1500 g Hafer und wurde dann zwei Stunden im Trabe bewegt. In dieser Zeit waren von den aufgenommenen 158,6 g Rohfaser schon 73,4 g, also 46 % in den Darm vorgedrungen, der Inhalt also dreimal so schnell als bei den gleich vorbereiteten Pferden 12 und 13 be-

1) Pflüger's Arch. Bd. 63 S. 569.
2) Zeitschr. f. physiol. Chem. Bd. 11 S. 300.

fördert worden. Auch der unseren Resultaten widersprechende Befund Colins dürfte, unter diesem Gesichtspunkte betrachtet, eine befriedigende Erklärung finden.

Dass bei den Pferden Nr. 20, 21 und 22 so geringe Mengen Zellulose in den Darm übergegangen waren, muss auf individuellen Verhältnissen beruhen. Bei Pferd 19 beweist der Fund von Haferkörnern im Coecum, dass die Beförderung eine bessere war als bei dem bewegten Pferde 20.

Die Prozentzahlen zeigen weiterhin, dass selbst in der fünften bis sechsten Verdauungsstunde nur verhältnismässig geringe Mengen des Mageninhaltes in den Darm übertreten, die Hauptmenge jedoch im Magen zurückbleibt. Allerdings beginnt der Übertritt der Nahrung in den Darm schon sehr frühzeitig, voraussichtlich schon während der Nahrungsaufnahme. Hierdurch erfahren die im hiesigen Institute von Ellenberger und Hofmeister[1]) und Goldschmidt[2]) gemachten Beobachtungen eine neue Bestätigung. Entsprechend den Angaben derselben Autoren[3]) war ein Übertritt von Teilen des Versuchsfutters in den Blinddarm erst im Verlaufe der vierten Verdauungsstunde nachzuweisen. Der Umstand, dass dies nur beim ruhenden Pferde der Fall war, während beim vier Stunden post pabulum bewegten Tiere noch keine Haferteilchen im Coecum nachzuweisen waren, ist ein weiterer Beweis dafür, dass auch in den späteren Stunden eine geringe Behinderung der Motilität nachweisbar ist.

Die auf Grund dieser Betrachtungen zu ziehenden Schlüsse bestehen also darin, dass zunächst in Übereinstimmung mit Tangl unzweideutig nachgewiesen ist, dass die Körperbewegung die Entleerung des Magens in der ersten und zweiten Verdauungsstunde in beträchtlicher Weise verlangsamt und dass dieser hemmende Einfluss auch in den späteren Stunden, wenn auch nicht mehr in gleich intensiver Weise, so doch immerhin nachzuweisen ist.

Da in neuerer Zeit von Bengen und Haane[4]) im hiesigen Institute infolge einiger Arbeiten anderer Autoren die Frage nach

1) Ellenberger und Hofmeister, Arch. f. wissensch. u. prakt. Tierheilkunde Bd. 8 S. 421, Bd. 10 S. 357.

2) Goldschmidt, Zeitschr. f. physiol. Chem. Bd. 10 S. 386.

3) Zeitschr. f. physiol. Chem. Bd. 11 S. 304. — Arch. f. wissensch. u. prakt. Tierheilk. Bd. 5 S. 434.

4) Pflüger's Arch. Bd. 106 S. 303.

der Durchmischung des Mageninhaltes während der Verdauung von neuem, und zwar beim Schweine erörtert worden ist und auch Grützner[1]) eine neue für die Beurteilung dieser Frage wertvolle Versuchsreihe veröffentlicht hat, dürfte es nicht überflüssig sein, die Ergebnisse der bei einigen unserer Versuchstiere in dieser Beziehung gemachten Beobachtungen hier mitzuteilen. Die Untersuchungen sind nur bei sieben Pferden angestellt worden, und zwar deshalb, um zu sehen, ob etwa die Bewegung der Tiere auf die Durchmischung des Mageninhaltes einen Einfluss ausübe. Bekanntlich haben Ellenberger[2]) und auch Goldschmidt[3]) im hiesigen Institute nachgewiesen, dass eine Durchmischung des Inhaltes des Pferde- und Schweinmagens nicht stattfindet, sondern „ein scharfer Unterschied zwischen dem Inhalt der Schlund- und dem der Pylorushälfte noch stundenlang besteht“. Die damals verwendeten Versuchstiere hatten aber mit wenigen Ausnahmen während der Verdauung geruht.

Um diese Verhältnisse am ruhenden und bewegten Pferde zu studieren, wurden bei einigen Pferden (1, 2, 5, 8, 11, 12, 15) der Magen nach dem Exenterieren durch Abschnürung in drei Teile geteilt, die der beim Pferde bekanntlich sehr stark entwickelten pars oesophagea (dem Vormagen), dem Fundusdrüsen- und dem Pylorusdrüsenteil entsprachen. Die Inhalte der abgeschnürten Teile wurden getrennt auf Dextrose und Wassergehalt untersucht.

Tabelle III.

Verdauungszeit	Nummer	Vormagen		Fundus		Pylorus	
		Wasser %	Dextrose %	Wasser %	Dextrose %	Wasser %	Dextrose %
1 Stde. Ruhe	1	59,27	2,35	60,95	2,05	61,06	1,87
	2	64,66	2,75	65,35	1,8	64,42	2,16
1 Stde. Beweg.	5	59,12	1,5	62,15	1,4	67,10	1,61
2 Stdn. Ruhe	8	58,28	1,05	62,34	1,33	64,76	1,65
	11	65,44	0,83	67	0,94	70,36	1,05
2 Stdn. Beweg.	12	73,96	1,32	74,1	0,85	74,1	0,91
3 Stdn. Ruhe	15	60,97	1,05	61,34	1,28	64,49	1,31

1) Pflüger's Arch. Bd. 106 S. 463.
2) Lehrbuch der vergl. Physiologie der Haussäugetiere Bd. 1 S. 732. 1890.
3) Zeitschr. f. physiol. Chem. Bd. 10 S. 384.

Die Ergebnisse sind in der vorstehenden Tabelle zusammengestellt. Sie zeigen, dass bei sämtlichen Pferden, gleichgültig ob dieselben während der Verdauung geruht haben oder bewegt wurden, ganz gleiche Gesetzmässigkeiten zu beobachten sind. Der Wassergehalt steigt von der Cardia her über die Funduspartie nach dem Pylorus zu an, wo er seinen höchsten Wert erreicht. Der Zuckergehalt ist im allgemeinen am geringsten im Fundusteil, etwas höher im Pylorusteil, und am grössten in der pars oesophagea, wie dies ja nach den bekannten durch Ellenberger und Hofmeister[1]) festgestellten Prinzipien zu erwarten ist. Sowohl beim ruhenden als auch beim bewegten Pferde sind also dieselben Gesetzmässigkeiten anzutreffen. Das ist aber nur dann möglich, wenn eine Durchmischung, die etwa durch die Körperbewegung hätte begünstigt oder veranlasst werden können, nicht stattgefunden hat. Die bekannten Regeln[2]), nach denen die Bewegungen des Futters im Pferdemagen ablaufen, haben also sowohl für Verdauung bei Ruhe als bei Bewegung gleiche Gültigkeit.

Wenn im vorstehenden der Einfluss auf die Motilität des Magens besprochen worden ist, so wäre weiterhin die Frage zu prüfen, ob die Körperbewegung daneben auch den Wassergehalt des Mageninhaltes beeinflusse und ob auch dadurch die quantitativen Verschiedenheiten des Mageninhaltes ruhender und bewegter Pferde erklärt werden können.

Goldschmidt[3]) gibt in seiner in unserem Institut unter Ellenberger's Leitung ausgeführten Arbeit über die Magenverdauung des Pferdes an, dass sich unter den von ihm benutzten 18 Versuchspferden einzelne fanden, deren Mageninhalt einen auffallenden Wasserreichtum aufwies. Er versucht diese Tatsache auf verschiedene Weise zu erklären und sagt unter anderem: „Ob möglicherweise der Umstand, dass die Pferde einen längeren Weg im Schrittgange geführt wurden, die Resorption im Magen verlangsamen kann, will ich dahingestellt sein lassen. Ein Tatsache ist es indessen, dass ich bei keinem der Pferde, die sich nicht bewegt hatten, einen flüssigen Mageninhalt vorfand.“ Durch mündliche Mitteilung des Institutsvorstehers ist mir auch bestätigt worden, dass unter den von Gold-

1) Arch. f. wissensch. u. prakt. Tierheilk. Bd. 8 S. 28.

2) Ellenberger, Lehrbuch der vergl. Physiologie der Haussäugetiere Bd. 1 S. 732. 1890.

3) Zeitschr. f. physiol. Chem. Bd. 10 S. 374.

schmidt untersuchten Pferden nur diejenigen, die bewegt worden waren, den hohen Wassergehalt des Mageninhaltes zeigten. Die betreffenden Pferde hatten einen Weg von einer Stunde im Schritt zurückgelegt. Goldschmidt ist also geneigt, den höheren Wassergehalt des Mageninhaltes auf eine geringere Wasserresorption zurückzuführen.

Die Vermutung Goldschmidt's, dass die Körperbewegung die Ursache des grösseren Wassergehaltes des Mageninhaltes bei den betreffenden Pferden gewesen sei, wird durch die Ergebnisse der Tangl'schen Versuche wesentlich unterstützt. Auch Tangl[1]) fand bei allen bewegten Pferden den Wassergehalt des Mageninhaltes grösser als bei den ruhenden. Er führt dies, da er dem Magen jedes Wasserabsorptionsvermögen auf Grund der Arbeiten v. Mering's[2]) abspricht, auf eine vermehrte Wassersekretion der Magenschleimhaut zurück. Endlich könnte man ja auch annehmen, dass bei den ruhenden Pferden infolge der lebhafteren Magenbewegungen mehr Wasser aus dem Mageninhalte ausgepresst und nach dem Darm geschafft wird wie bei den bewegten. Mag dem sein, wie ihm wolle, fest steht, dass Goldschmidt und Tangl bei bewegten Pferden mehr Wasser im Magen fanden als bei ruhenden.

Wie Tabelle IV zeigt, haben unsere Untersuchungen diese Beobachtungen bestätigt. Die Feststellung des Wassergehaltes des Mageninhaltes bietet aber auch von anderen Gesichtspunkten einiges Interesse. Bei der Prüfung der Ergebnisse unserer Versuche auf diese Frage muss das Augenmerk auch darauf gerichtet werden, ob es wohl möglich ist, darzutun, ob der eventuelle grössere Wassergehalt des Mageninhaltes bei bewegten Tieren auf gesteigerte Sekretion oder geminderte Resorption oder verminderte Wasserbeförderung nach dem Darm zurückzuführen sein dürfte. Eine Klarlegung dieser Verhältnisse kann wohl durch folgende Überlegung und Berechnung erzielt werden.

Nach Colin und Ellenberger[3]) schluckt ein Pferd beim Fressen trockenen Hafers durchschnittlich die doppelte Gewichtsmenge von Speichel ab. Die theoretisch im Magen zu erwartende Wassermenge wird sich demnach berechnen lassen, wenn man vom

1) Pflüger's Arch. Bd. 63 S. 566.

2) Über die Funktion des Magens. Verhandl. des XII. Kongr. für innere Medizin in Wiesbaden. 1893.

3) Lehrbuch der vergl. Physiologie der Haussäugetiere Bd. 1 S. 511.

doppelten Gewicht des Hafers, also dem Gewicht des verschluckten Speichels, die Trockensubstanz dieses Speichels, nach Ellenberger und Hofmeister ca. 1 %[1]), in Abrechnung bringt und die im Hafer enthaltene Wassermenge zuzählt, die sich aus der Analyse ergibt. Da nun die im Hafer enthaltene, unverdauliche Rohfasermenge ebenfalls durch die Analyse bekannt ist, wird sich in jedem Falle eine Beziehung zwischen ihr und der theoretischen Wassermenge herstellen lassen. Nimmt man weiterhin an, dass der Übergang der Ingesta aus dem Magen in den Darm gleichmässig erfolgt, so ist stets aus der noch im Magen vorgefundenen Rohfasermenge die im Magen theoretisch zu erwartende Wassermenge zu berechnen. Selbstverständlich gibt diese Berechnung nur annähernde Werte, da ja die Zahlen, auf denen sie basiert, wir meinen speziell die Menge des abgeschluckten Speichels, grossen individuellen Schwankungen ausgesetzt sein werden. Der Fehler, der dadurch entsteht, dass die Rechnung zum Teil mit unbekannten Faktoren erfolgt, wird aber das Verhältnis zwischen den einzelnen Vergleichungszahlen nicht in zu hohem Masse verschieben, da er bei jeder Berechnung begangen wird. Die nachfolgende Tabelle IV dürfte daher wohl kaum etwas von ihrer Beweiskraft einbüssen, um so mehr als trotz einiger Unregelmässigkeiten eine genügende Übereinstimmung herrscht.

Tabelle IV.

Wassergehalt des Mageninhaltes.

Verdauungsstunde	Ruhe				Bewegung				Gewicht des verfütterten Hafers
	Nr.	Mageninhalt g	Wasser g	Wasser %	Nr.	Mageninhalt g	Wasser g	Wasser %	g
1—1½	1	3640	2227	61,2	5[2])				2000
	2	4100	2706	66					2000
	3	3200	2265	70,8	6	4900	3560	72,6	1500
	4	3364	2212	65,8	7	3540	2496	70,5	1500
2—2½	8	3970	2461	62	12	4940	3769	74,2	2000
	9	3830	2576	67,2					2000
	10	2920	1859	63,7	13	4030	2918	72,4	1500
	11	3165	2086	65,9	14	2970	2345	78,9	1500
3—4	15	3520	2212	62,9					2000
	16	3135	2168	69,1	18	2955	2132	73	1500
	17	2320	1769	70,6	20	3175	2275	70,9	1500
5—5½	21	2905	2068	71,2	22	3950	3140	79,5	1500

1) Arch. f. wissensch. u. prakt. Tierheilk. Bd. 7 S. 16.

2) Bei Pferd 5 und 19 konnten diese Bestimmungen nicht ausgeführt werden.

Tabelle V.

Verdauungsstunde	Ruhe			Bewegung		
	Nr.	Wasser im Mageninhalt g	Wasser, theoretisch berechnet g	Nr.	Wasser im Mageninhalt g	Wasser, theoretisch berechnet g
1—1½	1	2227	3380	5[1]		
	2	2706	3360			
	3	2265	2140	6	3560	3070
	4	2212	2520	7	2496	2480
2—2½	8	2461	3672	12	3769	3140
	9	2575	3200			
	10	1859	2830	13	2918	2610
	11	2086	2550	14	2345	1680
3—4	15	2212	3420			
	16	2168	2480	18	2132	2230
	17	1769	1920	20	2275	2770
5—5½	21	2069	2680	22	3140	2770

Tabelle IV zeigt in Übereinstimmung mit den Beobachtungen von Goldschmidt und Tangl, dass der Mageninhalt der bewegten Pferde stets wasserreicher gefunden wurde als der der ruhenden. Der Wassergehalt schwankt innerhalb verhältnismässig geringer Grenzen, nämlich von 60—70 % beim ruhenden und von 70—80 % beim bewegten Pferde. Es ist vielleicht nicht unnötig, noch hervorzuheben, dass dieser Unterschied bis zur fünften bis sechsten Verdauungsstunde deutlich hervortritt.

Dass der grössere Wassergehalt der Mageninhalte der bewegten Pferde tatsächlich auf eine durch die Bewegung bedingte vermehrte Wassersekretion der Magenschleimhaut zurückzuführen ist, zeigt Tabelle V in befriedigender Weise. Bei sämtlichen ruhenden Pferden ist mit Ausnahme von Pferd 3 stets der durch die nach den oben erörterten Gesichtspunkten angestellte Berechnung gefundene, theoretisch zu erwartende Wassergehalt grösser als der tatsächlich vorgefundene. Genau umgekehrt verhalten sich berechneter und gefundener Wassergehalt bei den bewegten Pferden. Mit Ausnahme von Pferd 18 und 20 ist hier durchweg mehr Wasser im Magen vorhanden als theoretisch von aussen (d. h. mit Speichel und Hafer) in ihn hineingelangt sein kann. Dieser Wasserüberschuss lässt sich nur auf eine erheblich vermehrte sezernierende Tätigkeit der Magenschleimhaut zurückführen. Wie erheblich die Vermehrung der Sekretion sein

1) Bei Pferd 5 und 19 konnten diese Bestimmungen nicht ausgeführt werden.

muss, fällt um so mehr in die Augen, wenn man bedenkt, dass auch beim ruhenden Pferd durch die Sekretion im Magen der Wassergehalt erhöht wird, und dieser dennoch den theoretischen Wert nicht erreicht, während er beim bewegten Pferd ihn fast immer überschreitet. Die drei nicht völlig übeinstimmenden Resultate (Pferd 3, 18, 20) finden wohl ihre Erklärung in den individuellen Verschiedenheiten der Versuchstiere und fallen gegen die 17 übrigen gut übereinstimmenden Versuche kaum ins Gewicht, um so mehr als ja die tatsächlich sezernierten Speichel- und Wassermengen unbekannt sind.

Der geringe Wassergehalt bei den ruhenden Pferden dürfte auf eine gesteigerte Resorption und eine gesteigerte Beförderung des Wassers nach dem Dünndarm zurückzuführen sein.

Im Anschluss an die vorstehende Erörterung über den Einfluss der Körperbewegung auf die Wassersekretion des Magens des verdauenden Pferdes sei noch erwähnt, dass die Versuche, die angestellt wurden, um etwaige Einflüsse auf die Säureproduktion festzustellen, zu keinem Resultate geführt haben. Tangl[1]) fand beim ruhenden Pferd eine saure, beim trabenden eine schwach alkalische Reaktion des Mageninhalts. Wir konnten selbst diesen Unterschied, der übrigens, wie auch Tangl betont, zu irgend welchen Schlüssen nicht berechtigt, nicht feststellen, da in allen Fällen der gemischte Mageninhalt saure Reaktion zeigte, wie das auch nach den Untersuchungen Ellenbergers[2]) zu erwarten war. Die Verhältnisse liegen für den Nachweis von Reaktionsunterschieden infolge der gewaltigen Speichelmengen und der im Pferdemagen sehr lebhaft ablaufenden Milchsäuregärung sehr ungünstig und werden in den späteren Stunden durch das Auftreten der produzierten Salzsäure immer verwickelter, so dass eine Lösung dieser Frage wohl nur durch mass- oder gewichtsanalytische Bestimmung der Säureionen erreicht werden könnte. Wir haben übrigens der Frage der Säure- und Enzymsekretion eine besondere Aufmerksamkeit nicht geschenkt. Zu ihrer Lösung würden besondere Versuche notwendig sein.

Sämtliche bisher ausgeführte Berechnungen und vor allem diejenigen, welche in den folgenden Ausführungen über die Ausnutzung des Versuchsfutters angestellt werden sollen, basieren erstens auf

1) Pflüger's Arch. Bd. 63 S. 567.

2) Arch. f. wissensch. u. prakt. Tierheilk. Bd. 5 S. 399.

der Voraussetzung der absoluten Unverdaulichkeit der Rohfaser im Magen und Dünndarm, wie es von den mehrfach zitierten Autoren im hiesigen Institute seinerzeit nachgewiesen worden ist[1]. Zweitens sind die Berechnungen aber nur gültig, wenn ein gleichmässiges Vorrücken der Inhaltsteile des Magens nach dem Darm stattfindet. Nur dann ist die der im Magen vorgefundenen Rohfasermenge entsprechende Hafermenge als diejenige anzusehen, die sich tatsächlich noch im Magen vorfindet. Bestimmt man dann die im Magen ungelösten Nährstoffe, so lässt sich ohne weiteres berechnen, wieviel Prozent von den Nährstoffen des Hafers verdaut und wieviel aus dem Magen verschwunden sind. Diese Berechnungsweise ist von Ellenberger und Hofmeister stets angewendet worden, und auch Tangl[2] hat sich ihrer in seiner Arbeit bedient. Letzterer hat sich von der Richtigkeit der Annahme, dass das Vorrücken der Inhaltsteile gleichmässig erfolgt, dadurch überzeugt, dass er das jeweilige Verhältnis der im Magen vorgefundenen Trockensubstanz zu der ebenda gefundenen Fasermenge feststellte. Dieses Verhältnis muss, falls die Voraussetzung richtig ist, stets ungefähr mit dem Verhältnis der Trockensubstanz zur Rohfaser des verfütterten Hafers übereinstimmen. Tatsächlich war dies nach Tangl immer der Fall. Für die erste Stunde, auf die sich die Tangl'sche Versuchsreihe ja nur erstreckt, ist also jene Voraussetzung als zu Recht bestehend anzusehen. Es handelte sich nun darum zu prüfen, ob auch unsere Versuche diese Annahme bestätigen.

Zur Vornahme dieser Prüfung ist die Berechnung in der Weise angestellt worden, dass in jedem Falle festgestellt wurde, wieviel Prozent Rohfaser die im Magen vorgefundene Trockensubstanzmenge enthielt. Diese Prozentzahl muss mit der auf gleiche Weise erhaltenen des Versuchshafers übereinstimmen, wenn die erwähnte Annahme als berechtigt anerkannt werden soll. Selbstverständlich wird eine Übereinstimmung beider nur so lange möglich sein, als nicht durch Verdauung und vor allem durch Resorption grössere Mengen Trockensubstanz aus dem Magen verschwunden sind. Sobald dies der Fall ist, wird, da die Rohfaser unverdaulich ist, ihre relative Menge und mit dieser die Prozentzahl steigen, und die Vergleichszahl des Hafers überschreiten, wie aus der folgenden Zusammenstellung zu ersehen ist.

1) Arch. f. wissensch. u. prakt. Tierheilk. Bd. 10 S. 365.

2) Pflüger's Arch. Bd. 63 S. 570.

Tabelle VI.

Verdauungsstunde	Ruhe			Bewegung		
	Nr.	Prozente der Rohfaser in der Trockensubstanz des Mageninhaltes	Prozente der Rohfaser in der Trockensubstanz des Hafers	Nr.	Prozente der Rohfaser in der Trockensubstanz des Mageninhaltes	Prozente der Rohfaser in der Trockensubstanz des Hafers
1—1½	1	11,63	12,4	5	12,08	12,40
	2	11,67	12,4			
	3	12,54	12,98	6	13,18	12,98
	4	15,21	16,51	7	17,24	16,51
2—2½[1]	8	11,83	12,40	12	13,40	12,40
	10	11,86	12,98	13	13,53	12,98
	11	12,02	11,77	14	13,64	11,77
3—3½	15	12,71	12,40			
	16	13,03	11,77			
	17	17,7	11,77	18	13,66	11,77
4—4½				20	15,75	11,77
5—5½	21	16,52	11,77	22	17,4	11,77

Die vorstehende Übersicht zeigt, dass erst in der dritten bis vierten Verdauungsstunde ein nennenswertes Anwachsen der Rohfasermenge eintritt, dass also bis zu dieser Zeit auch der experimentelle und rechnerische Nachweis für die Richtigkeit der Annahme des gleichmässigen Vorrückens des Magendarminhaltes tatsächlich erbracht wird. Man wird wohl nicht fehlgehen, wenn man die Gültigkeit dieses Satzes auch auf die späteren Verdauungsstunden ausdehnt, wenngleich die oben mehrfach erörterten Gründe eine weitere experimentelle Verfolgung der Frage nicht zulassen.

Weiterhin lassen sich noch zwei andere regelmässig wiederkehrende Gesetzmässigkeiten aus der Tabelle ableiten.

Zunächst ist, selbstverständlich nur in den Stunden, in denen die Trockensubstanz noch nicht nennenswerte Verminderung durch Verdauungs- und Resorptionsvorgänge erfahren hat, bei dem ruhenden Pferde der Prozentgehalt der Rohfaser im Magen geringer als im Hafer, während er bei den bewegten Pferden im Durchschnitt grösser ist. Ausserdem ist aber auch die Rohfaserprozentzahl der bewegten Pferde grösser als die der ruhenden.

Diese Tatsachen sind um so auffälliger, als eigentlich nach den vorhergegangenen Betrachtungen gerade das umgekehrte Verhältnis zu erwarten gewesen wäre. Der geringere Prozentgehalt an Roh-

1) Pferd 9 kommt in Wegfall, da keine Rohfaserbestimmung ausgeführt wurde.

faser in der Trockensubstanz des Mageninhaltes des ruhenden Pferdes ist leicht zu erklären. Die analytisch festgestellte Trockensubstanzmenge des Mageninhaltes wird im allgemeinen, solange nennenswerte Verdauung und Resorption noch nicht eingetreten ist, stets etwas grösser sein als die Trockensubstanzmenge des zurzeit im Magen befindlichen Hafers, da ja zu letzterer noch die immerhin nicht unerhebliche Trockensubstanz des abgeschluckten Speichels und der Magensekrete hinzuzurechnen sind. Da die Rohfasermenge im Mageninhalte dieselbe bleibt, bedingt die Vermehrung der Trockensubstanz eine Verminderung der Rohfaserprozentzahl. Wie nun im vorigen Kapitel nachgewiesen worden ist, wird eben durch die Körperbewegung eine ganz erhebliche Steigerung der Magensekretion hervorgerufen, die, wenn man dieselbe nicht entgegen aller Wahrscheinlichkeit als eine reine Wassersekretion ansehen will, sicher ein gewisses Anwachsen der Trockensubstanz zur Folge haben müsste und also ein noch weiteres Sinken der Rohfaserprozente unter den theoretischen Wert nach sich ziehen würde. Statt dessen zeigt die Tabelle, dass im Gegenteil die gefundene Prozentzahl die theoretische übersteigt, also nicht etwa eine Vermehrung, sondern eine Verminderung des Trockensubstanzgehaltes im Mageninhalt eingetreten sein muss. Diese Verminderung kann nur durch eine vermehrte Ausnützung, Verdauung und Resorption der Trockensubstanz erklärt werden. Auch die Tatsache, dass die Prozentzahl der Rohfaser bei den bewegten Pferden stets grösser ist als die bei den ruhenden, bringt hierfür einen weiteren Beweis. Die vorstehenden Betrachtungen machen es demnach wahrscheinlich, dass die Körperbewegung einen die Verdauung und Resorption fördernden Einfluss ausübt.

Wir gelangen also, allerdings auf Grund ganz anderer Überlegungen, zu demselben Schlusse, den auch Tangl für die erste Verdauungsstunde für wahrscheinlich hält. Der Beweis für die Richtigkeit unserer Vermutung kann nur durch die im folgenden geschilderte Berechnung der Ausgiebigkeit der Magenverdauung und Vergleich der entsprechenden Resultate geliefert werden.

II. Einfluss der Körperbewegung auf die Verdauungsvorgänge im Magen des Pferdes.

Bei der Berechnung der Ausgiebigkeit der Verdauung wählten wir denselben Weg, wie er von Ellenberger und Hofmeister

stets angewandt worden ist. Als „verdaut“ wurde diejenige Menge Trockensubstanz, Kohlehydrate oder Eiweiss angesehen, die von den aus der Rohfaser berechneten, also aus dem verfütterten Hafer herstammenden, wasserunlöslichen Nährstoffmengen, als gelöst zu betrachten war. Die Berechnung geschah derart, dass die durch die Analyse als ungelöst bestimmte Menge von der berechneten abgezogen wurde. Ehe wir zur Erläuterung der folgenden Tabellen schreiten, sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass nur die Resultate der mit demselben Versuchshafer und den gleichen Mengen gefütterten Versuchspferde untereinander vergleichbar sind. Dieselben sind daher, wie schon in den früheren Tabellen, stets nebeneinander gestellt. Gerade hier zeigt sich recht deutlich, wie Hafer verschiedener Zusammensetzung auch ganz verschieden verdaut wird. Ferner treten in den folgenden zahlenmässigen Zusammenstellungen grosse Verschiedenheiten der einzelnen Versuchstiere (z. B. Pferd 3, 9, 17) auf, die offenbar auf individuelle Veranlagung zurückzuführen sind. Auch Goldschmidt[1]) hat hierauf schon hingewiesen, indem er Pferde mit „guter“ und „weniger guter“ Magenverdauung unterschied. Nach unseren Protokollen zu urteilen, dürften vor allem das Alter und die durch dieses meist bedingte mehr oder minder grosse Rüstigkeit und Frische der einzelnen Tiere eine ganz besonders wichtige Rolle spielen.

a) Verdauung der Trockensubstanz.

Die nachfolgende Tabelle VII zeigt, dass die Magenverdauung bei den bewegten Pferden tatsächlich weiter fortgeschritten ist als bei den ruhenden, und dass diese Förderung, die Tangl für die erste Verdauungsstunde als wahrscheinlich ansah, nicht nur für die erste Zeit nach der Nahrungsaufnahme besteht, sondern noch in der 5.—6. Stunde wahrzunehmen ist. Dieses Resultat ist um so auffallender, als nach den Versuchen von Salvioli, Spirig und Anderen die Magenverdauung des Hundes und des Menschen durch die Körperbewegung verzögert wird. Tangl[2]) weist in seinen Ausführungen hierauf hin und gibt dafür eine Erklärung, der wir uns vollständig anschliessen müssen. Er sagt: „Unser Resultat verliert an seiner Auffälligkeit, wenn man erstens in Betracht zieht, dass die Untersuchungen der genannten Autoren einerseits an Fleischfressern angestellt wurden, andererseits beim Menschen nur die

1) Zeitschr. f. physiol. Chem. Bd. 11 S. 300.

2) Pflüger's Arch. Bd. 63 S. 572.

Tabelle VII.

Verdauungs-stunde	Ruhe: Nr.	Ruhe: Ungelöste Trockensubstanz des Mageninhaltes g	Ruhe: Rohfaser im Mageninhalt g	Ruhe: Aus der Rohfaser berechnete Trockensubstanz g	Ruhe: Verdaut g	Ruhe: Verdaut %	Ruhe: Mittel %	Bewegung: Nr.	Bewegung: Ungelöste Trockensubstanz des Mageninhaltes g	Bewegung: Rohfaser im Mageninhalt g	Bewegung: Aus der Rohfaser berechnete Trockensubstanz g	Bewegung: Verdaut g	Bewegung: Verdaut %	Bewegung: Mittel %
1—1½	1	1292,2	164,3	1316	23,8	1,8		5	1182	156,8	1264	82	6,94	
	2	1246,4	163,4	1309	52,6	4,02	9,09							15,3
	3	797,9	122,7	945,1	147,2	15,57		6	1187	176,7[1])	1361	174	12,79	
	4	900,1	175,6	1063	162,9	14,97		7	774	169,2	1048	274	26,13	
2—2½	8	1310	178,5	1429	119	8,33		12	1121,4	170,8[1])	1365	244,4	17,91	
	9[2])	1133,7	—	—	ca.120,6	ca. 9,61	15,6							27,62
	10	818,6	162,9	1255,8	337,2	27,49		13	906,4	150,4	1158,5	252,1	21,9	
	11	914,6	129,7	1102	187,4	17		14	412	85,2	723,6	311,6	43,06	
3—4	15	1267,2	166,3	1331	63,8	5,03								
	16	823,7	126	1070,2	246,5	23,03	26,1	18	577,7	113,6	964,8	387,1	40,12	40,4
	(17	414,1	97,9	831,5	417,4	50,2)		20	720,1	144,5	1227,3	507,2	41,33	
5—5½	21	680,4	136,5	1159	478,6	42,3	42,3	22	588,5	141	1197,5	609	50,8	50,8

1) Rohfaser aus der im Dünndarm bestimmten Menge berechnet.

2) Da die Rohfaserbestimmung nicht ausgeführt, auf die gefundene Trockensubstanzmenge berechnet.

Eiweissverdauung berücksichtigt wurde, während wir an Pferden experimentierten, deren Magenverdauung nach der Untersuchung von Ellenberger und Hofmeister und Goldschmidt nicht unwesentlich von der der Fleischfresser abweicht."

b) Kohlehydratverdauung.

Tangl sieht es, allerdings nur auf Grund von zwei Versuchen, als wahrscheinlich an, dass auch eine Steigerung der Kohlehydratverdauung durch die Körperbewegung veranlasst werde. Diese Annahme ist um so mehr berechtigt, als durch den Wasserreichtum des Mageninhaltes, der noch fast die gesamte Menge des abgeschluckten, alkalischen und ptyalinhaltigen Speichels enthält, und ferner dadurch, dass im Pferdemagen die Salzsäurekonzentration erst in den späteren Verdauungsstunden hoch genug wird, um die durch die Wirkung des Ptyalins und des im Hafer enthaltenen amylolytischen Fermentes ablaufende Amylolyse zu stistieren, im Magen des bewegten Pferdes die günstigsten Verhältnisse für die Stärkeverdauung gegeben sind.

In der Tabelle VIII sind die diesbezüglichen Resultate unserer neuen Versuchsreihe zusammengestellt. Pferd 9 ist bei ihr ganz in Wegfall gekommen, da Rohfaserbestimmungen bei diesem Versuch nicht ausgeführt werden konnten und so eine Berechnung nicht zu ermöglichen war. Pferd 17 zeigt auch hier wieder eine ausserordentlich kräftige Verdauung, die auf die schon oben erwähnten individuellen Ursachen zurückzuführen ist.

Die Vergleichung der Resultate der zusammengehörigen Versuche, sowie die der Mittelzahlen bringt klar zum Ausdruck, dass erstens die Kohlehydratverdauung bis zur sechsten Verdauungsstunde in stetem Ansteigen begriffen ist, und dass zweitens bei den bewegten Pferden die Stärkeverdauung unter dem Einfluss der Körperbewegung (bis auf einen Fall) durchweg eine grössere wie die der ruhenden Tiere ist.

Diese Annahme stimmt für Pferd 21 nicht; leider konnten wir auch nicht durch ein Kontrollpferd oder wenigstens durch eine Kontrollbestimmung der Kohlehydrate diesen vereinzelten Fall einer Nachprüfung unterziehen. Wir halten uns aber für berechtigt, ihm eine besondere Bedeutung nicht zuzuschreiben, um so mehr, als, wie schon in der Einleitung mehrfach betont worden ist, zwingende Beweiskraft nur mehreren übereinstimmenden Versuchen zugesprochen werden kann.

Tabelle VIII.

Verdauungsstunde	Ruhe: Nr.	Ruhe: Gefundene Kohlehydrate g	Ruhe: Ungelöst g	Ruhe: Rohfaser g	Ruhe: Berechnete Kohlehydrate g	Ruhe: Verdaut g	Ruhe: Verdaut %	Ruhe: Mittel %	Bewegung: Nr.	Bewegung: Gefundene Kohlehydrate g	Bewegung: Ungelöst g	Bewegung: Rohfaser g	Bewegung: Berechnete Kohlehydrate g	Bewegung: Verdaut g	Bewegung: Verdaut %	Bewegung: Mittel %
1—1½	1	965,9	918,2	164,3	971,1	52,9	5,45		5	840,6	764,5	156,8	931,3	166,8	17,91	
	2	919,4	848,3	163,4	965,8	117,5	12,17	12,12								29,07
	3	402,6	347,5	122,7	429,2	81,7	19,03		6	476,0	382	176,7[1]	618,4	236,4	38,23	
	4	541,6	477,9	175,6	548	70,1	12,79		7	446,5	363,4	169,2	527,2	163,8	31,07	
2—2½	8	949,2	877,7	178,5	1055	177,3	16,81		12	832	727,7	170,8[1]	1008	270,3	26,82	
	10	455,6	378,6	162,9	570,1	191,5	33,59	21,13	13	449	324,1	150,4	526,4	202,3	38,43	36,79
	11	495,6	445,1	129,7	511,6	66,5	13		14	223,5	187,9	85,2	336,2	148,3	45,14	
3—4	15	849,8	797,3	166,3	983,9	186,6	18,97									
	16	459,1	283,0	126	497	214	43,06	39,68	18	310,6	249,9	113,6	448,1	198,1	44,23	47,17
	(17	262,5	166,0	97,9	386,2	220,2	57,02)		20	403,8	284,4	144,5	570	285,6	50,11	
5—5½	21	294,7	179,4	136,5	538,4	359	66,68	66,68	22	253,2	202,6	141	556,2	353,6	63,57	63,57

1) Rohfaser aus dem Rohfasergehalt des Dünndarmes berechnet.

Die vorliegenden Resultate bestätigen also die theoretische Annahme, dass die Körperbewegung die Kohlehydratverdauung im Pferdemagen steigert.

c) Eiweissverdauung.

Die Tabelle IX (S. 174) enthält die Zusammenstellung der bei der Berechnung der Eiweissverdauung erhaltenen Resultate, die in der mehrfach geschilderten Weise berechnet worden sind.

Die Beeinflussung der Eiweissverdauung durch die Körperbewegung musste von ganz besonderem Interesse sein, da ja die meisten früheren Arbeiten anderer Autoren sich auf sie bei Hunden, also Fleischfressern, und bei Menschen bezogen haben. Diese Autoren (Salvioli, Spirig) fanden, dass die Körperbewegung die Eiweissverdauung hemmte, und auch wir können die interessante Tatsache feststellen, das in der ersten bis zweiten Verdauungstunde, aber auch nur in diesen, eine erhebliche Herabsetzung der proteolytischen Wirkung durch die Körperbewegung bewirkt worden ist. In den späteren Verdauungsstunden finden wir hingegen eine deutliche vermehrte Eiweissverdauung bei den bewegten Tieren, also ganz dieselbe Erscheinung, die wir bei der Verdauung der Trockensubstanz und der Kohlehydrate beobachteten.

Unser Resultat, das eben gerade dadurch, dass es bei einem reinen Pflanzenfresser gewonnen ist, während die anderen Autoren vorzüglich Carnivoren resp. Omnivoren untersuchten, ganz besonderes Interesse beansprucht, verliert seine Auffälligkeit, wenn man die im vorliegenden Falle im Magen herrschenden Verhältnisse betrachtet. Wie wir nachgewiesen haben, wird der Magen durch die Körperbewegung in seiner Motilität gehemmt, sein Inhalt wird dabei überaus wasserreich und enthält noch fast die gesamte Menge des beim Kauen sezernierten, alkalischen Speichels. Sein Säuregehalt ist ein ganz unbedeutender und wird durch eine organische, erst in grosser Konzentration die Amylolyse hemmende und die Proteolyse anregende Säure (Milchsäure) bedingt. Es wird im Magen, solange diese für die Proteolyse ungünstigen Verhältnisse herrschen, eine solche von irgendwie beträchtlicher Wirkung nicht eintreten können, erst später, wenn mehr Salzsäure produziert worden und mehr Milchsäure durch Gärung entstanden ist, wird die Proteolyse erheblicher werden können. Nach unserer Tabelle tritt dieses Ansteigen der Proteolyse ungefähr $1^1/_2$—2 Stunden post pabulum ein.

Tabelle IX.

Verdauungsstunde	Ruhe: Nr.	Eiweiss im Mageninhalt g	Ungelöst g	Rohfaser g	Eiweiss berechnet g	Verdaut g	Verdaut %	Mittel %	Bewegung: Nr.	Eiweiss im Mageninhalt g	Ungelöst g	Rohfaser g	Eiweiss berechnet g	Verdaut g	Verdaut %	Mittel %
1—1½	1	188,1	156,6	164,3	174,6	18,0	10,31		5	179,3	155,9	156,8	170,1	14,2	8,3	
	2	158,7	101,3	163,4	173,7	72,4	41,68	31,25								7,9
	3	112,2	69,6	122,7	111,2	41,6	37,41		6	166,8	148,1	176,7	160,1	12	7,5	
	4	126,5	85,0	175,6	131,5	46,5	35,36									
2—2½	8	197,8	170,6	178,5	189,7	19,1	10,07		12	170,6	106,7	170,8	181,3	74,6	41,15	
	9	150,7	128,3	—	—	ca. 22,4	ca. 14,8	19,51								45,2
	10	139,2	111,2	162,9	147,6	36,4	24,66		13	114,8	60,4	150,4	133,5	73,1	54,76	
	11	148,3	100,3	129,7	140,3	40	28,51		14	82,8	55,6	85,2	92,2	36,6	39,70	
3—4	15	156,1	139,2	166,3	176,7	37,5	21,22									
	16	121,5	74,6	126	136,3	61,7	45,27	33,2 bis 48,61 1)	18	88,7	57,5	113,6	122,9	65,4	53,21	56,43
	(17	73,4	23,6	97,9	105,9	82,3	79,34)		20	95,2	63,1	144,5	156,4	93,3	59,65	
5—5½	21	95,1	77,4	136,5	147,7	70,3	47,4	47,4	22	126,8	50,4	141	152,6	102,6	67,24	67,24

1) Pferd 17 zeigt auch hier die bekannte Abnormität der ausserordentlich lebhaften Verdauung; lässt man dasselbe bei der Berechnung der Mittelzahl weg, dann sind nur 33,2 % als verdaut anzugeben.

Die Tatsache, dass die Eiweissverdauung der bewegten Tiere von der zweiten Verdauungsstunde an sogar noch erheblicher ist als die der ruhenden Pferde, zwingt zu der Annahme, dass die Körperbewegung nicht allein die Wassersekretion der Magenschleimhaut, sondern auch die Enzym- und Säureproduktion der Magendrüsen anregt und steigert. Dass in den späteren Stunden durch die vermehrte Salzsäureproduktion eine lebhaftere Proteolyse veranlasst wird, bedarf keiner weiteren Erklärung. Es könnte höchstens noch der Einwand erhoben werden, dass durch die vermehrte Säureproduktion wohl die Proteolyse begünstigt werden könnte, dass aber dann die von uns ebenfalls nachgewiesene Steigerung der Amylolyse in den späteren Verdauungsstunden unerklärlich wäre. Hierzu ist zu bemerken, dass, wie Ellenberger und Hofmeister[1]) und Goldschmidt[2]) nachgewiesen und auch wir im Vorstehenden mehrfach betont haben, die Verdauung in verschiedenen Regionen des Magens auch verschieden abläuft, dass also sehr wohl neben einer starken Amylolyse linksseits eine ebenso starke Proteolyse rechtsseits im Magen bestehen kann. Diese Periode der gemischten Verdauung herrscht sogar nach Goldschmidt[3]) während des weitaus grössten Teiles des gesamten Ablaufes der Magenverdauung.

Pferd 7 ist in die vorstehende Tabelle nicht mit aufgenommen worden. Es war ein schlechter Fresser, welcher von den vorgelegten 1500 g nur 1430 aufnahm und dazu 40 Minuten brauchte, während andere Pferde in 20 bis höchstens 30 Minuten die ganze Ration verzehrten. Die nicht genossenen 70 g Hafer liess es mit sehr viel Speichel vermischt in der Krippe zurück. Auf dieses anormale Verhalten ist auch das widersprechende Resultat dieses Versuches zurückzuführen. Von den im Mageninhalt berechneten 126,6 g Eiweiss waren nur 72,6 g ungelöst, es waren also 42,8 % verdaut. Eine derartig beträchtliche Verdauung widerspricht aber nicht nur unseren übrigen Untersuchungsresultaten, sondern auch den früheren von Ellenberger und Hofmeister; infolgedessen ist die Aufnahme in unsere Tabelle nicht erfolgt.

Die vorstehenden Betrachtungen berechtigen zu dem Schlusse, dass die Körperbewegung nicht nur eine vermehrte Wasser-,

1) Arch. f. wissensch. u. prakt. Tierheilk. Bd. 8 S. 29.

2) Zeitschr. f. physiol. Chem. Bd. 10 S. 388.

3) Zeitschr. f. physiol. Chem. Bd. 10 S. 375.

sondern auch eine vermehrte Salzsäure- und Pepsinsekretion der Magenschleimhaut bewirkt. Die hierdurch veranlasste Steigerung der Proteolyse im Magen des bewegten Pferdes gelangt von der zweiten Verdauungsstunde an in deutlichster Weise zum Ausdruck. In den ersten Verdauungsstunden ist hingegen eine erhebliche Verminderung der Proteolyse gegenüber den ruhenden Pferden zu konstatieren.

III. Einfluss der Körperbewegung auf die Resorption im Magen.

In den vorhergehenden Kapiteln ist gezeigt worden, dass die Körperbewegung einen sehr erheblichen Einfluss auf die verdauenden Funktionen des Magens ausübt. Es war somit zu erwarten, dass auch die im Magen statthabenden Resorptionsvorgänge nicht unbeeinflusst sein würden.

Der Berechnung der resorbierten Nährstoffmengen, im besonderen der Trockensubstanz und des Eiweisses des verfütterten Hafers stellen sich einige Schwierigkeiten entgegen, die darin begründet sind, dass, wie schon bei einer früheren Berechnung hervorgehoben wurde, Faktoren in Rechnung gezogen werden müssen, deren genaue Bestimmung unmöglich ist, und die deshalb nur in Mittelzahlen und Annäherungswerten zum Ausdruck kommen können. Im allgemeinen wird als resorbiert diejenige Menge der einzelnen Nährstoffe aufzufassen sein, die sich als Differenz zwischen der theoretisch aus der Rohfaser zu berechnenden angewandten und der durch die Analyse tatsächlich vorgefundenen Menge der Nährstoffe ergibt. Diese einfachen Verhältnisse würden bei der Berechnung der Kohlehydratresorption in Betracht zu ziehen sein. Bei der Betrachtung der Resorption der Trockensubstanz, die zunächst behandelt werden soll, liegen die Verhältnisse insofern komplizierter, als die im Magen vorgefundene Menge nicht allein vom Versuchshafer herrührt, sondern dass ein gewisser, nicht unerheblicher Prozentsatz derselben einmal aus abgeschlucktem Speichel, dann aber auch aus den Sekreten der Magenschleimhaut, ihrer Drüsen und abgestorbenem Epithel herstammt. Während sich die Menge des abgeschluckten Speichels und seine Trockensubstanz nach den Untersuchungen und Analysen von Ellenberger und Hofmeister[1]) einigermassen annähernd be-

1) Arch. f. wissensch. u. prakt. Tierheilk. Bd. 7 S. 16.

stimmen lässt, ist sowohl die Menge als auch der Trockensubstanzgehalt der Magensekrete kaum festzustellen. Wir haben bei der Berechnung für die folgende Zusammenstellung diese Schwierigkeit dadurch zu umgehen gesucht, dass wir in jedem Falle das Gewicht der Wassermenge des Mageninhalts bestimmten, von ihr das Gewicht des aus dem im Magen vorhandenen Hafer herstammenden Wassers in Abrechnung brachten und das übrigbleibende Gewicht Wasser als vom Speichel herrührend betrachteten. Die vom Hafer herrührende Menge Trockensubstanz wird dann durch Abzug der Trockensubstanz des Speichels [ca. 1 % nach Ellenberger und Hofmeister[1])] von der durch die Analyse gefundenen Trockensubstanz des Mageninhaltes zu berechnen sein. Der bei dieser Rechnung bewusst begangene Fehler kann die Beweiskraft der Resultate gar nicht oder nur wenig beeinträchtigen, da er bei jedem Versuche in gleicher Weise gemacht worden ist und es bei unseren Versuchen nicht auf absolute, sondern lediglich auf vergleichbare Werte ankam.

(Siehe Tabelle X S. 178.)

In beträchtlicher Weise beginnt nach der nachstehenden Tabelle die Resorption im Pferdemagen erst in der zweiten bis dritten Verdauungsstunde und nimmt allmählich, wie wir dies auch für die Verdauung nachwiesen, mit der nach der Nahrungsaufnahme verstrichenen Zeit zu. Entsprechend der bei den bewegten Pferden weiter fortgeschrittenen Verdauung ist bei ihnen auch eine vermehrte Resorption gegenüber den ruhenden Tieren wahrzunehmen, wie die Mittelzahlen deutlich veranschaulichen. Dieser Unterschied tritt auch schon in den ersten beiden Verdauungsstunden zutage, in denen sich beim ruhenden Pferde eine nennenswerte Resorption mit Sicherheit nicht feststellen lässt, während bei den bewegten Tieren schon Zahlen gefunden wurden, die, wenn sie auch sehr niedrig sind, doch ausserhalb der Fehlergrenze liegen, also deutlich auf eine Resorption hinweisen. Dass auch hier die individuelle Veranlagung eine gewisse Rolle spielt, tritt bei dem schon mehrfach erwähnten Versuchstier 17 zutage und bedarf wohl keiner besonderen Besprechung. Aus der Zusammenstellung geht deutlich hervor, dass die Resorption im Pferdemagen eng mit dem Ablauf der Verdauungsvorgänge zusammenhängt. Da die Trockensubstanz ausser einer geringeren Quantität nicht bestimmter organischer und an-

---

1) Arch. f. wissensch. u. prakt. Tierheilk. Bd. 7 S. 16.

Tabelle X.

Resorption der Trockensubstanz im Magen.

Verdauungsstunde	Nr.	Gewicht des Wassers im Mageninhalt	Gewicht des Speichels	Trockensubstanz des Speichels	Aus der Rohfaser berechnete Trockensubstanz des Mageninhaltes	Gefundene Trockensubstanz des Mageninhaltes	Gefundene Trockensubstanz nach Abzug der Trockensubstanz des Speichels	Resorbiert		Mittel	Art der Körperbewegung
		g	g	g	g	g	g	g	%	%	
1—1½	1	2227	1984	20	1316	1413	1393	—	—	?	Ruhe
	2	2706	2464	25	1309	1394	1369	—	—		
	3	2265	2168	22	945	934	912	33	3,5		
	4	2212	2073	21	1063	1152	1131	—	—		
2—2½	8	2461	2197	22	1429	1509	1487	—	—	4,3	
	10	1859	1743	18	1256	1061	1043	113	8,9		
	11	2086	1958	20	1102	1079	1059	43	3,9		
3—4	15	2212	1967	20	1331	1307	1287	44	3,3	16,9	
	16	2168	2044	21	1070	966	945	125	11,7		
	(17	1769	1673	17	831	551	534	297	35,7)		
5—5½	21	2068	1933	20	1159	836	816	343	29,6	29,6	
1—1½	5	2252	2020	21	1264	1298	1277	—	—	2,3	Bewegung
	6	3560	3434	35	1361	1341	1306	55	4		
	7	2496	2362	24	1048	1044	1020	28	2,7		
2—2½	12	3769	3517	36	1365	1274	1238	127	9,3	10,9	
	13	2918	2811	29	1158	1111	1082	76	6,6		
	14	2345	2261	23	723	624	601	122	16,7		
3—4	18	2132	2020	21	964	812	791	173	17,9	22,5	
	20	2275	2133	22	1227	918	896	331	27		
5—5½	22	3140	3101	32	1197	809	777	420	35,1	35,1	

organischer Bestandteile hauptsächlich aus Kohlehydraten und stickstoffhaltigen Bestandteilen (Eiweiss) besteht, werden auch für die Resorption dieser Nährstoffe ihrer Verdauung analoge Verhältnisse zu erwarten sein.

Der Beweis für die Richtigkeit dieser Annahme wird für die Resorption der Kohlehydrate durch die folgende Tabelle XI erbracht.

Tabelle XI.

Resorption der Kohlehydrate.

Verdauungsstunde	Ruhe					
	Nr.	Kohlehydrate a. d. Rohfaser berechnet g	Im Mageninhalt gefunden g	Resorbiert g	Resorbiert %	Mittel %
1—1½	1	971,1	965,9	5,2	0,54	3,2
	2	965,8	919,4	46,4	4,8	
	3	429,2	402,6	26,6	6,2	
	4	548	541,6	6,4	1,17	
2—2½	8	1055	949,2	105,8	10,03	11,1
	10	570,1	455,6	114,5	20,1	
	11	511,6	495,6	16	3,13	
3—4	15	983,9	849,8	134,1	13,63	17,8
	16	497	459,1	37,9	7,63	
	(17	386,2	262,5	123,7	32,03)	
5—5½	21	538,4	294,7	243,7	45,26	45,26

Verdauungsstunde	Bewegung					
	Nr.	Kohlehydrate a. d. Rohfaser berechnet g	Im Mageninhalt gefunden g	Resorbiert g	Resorbiert %	Mittel %
1—1½	5	931,3	840,6	90,7	9,74	16
	6	618,4	476	142,4	23,03	
	7	527,2	446,5	80,7	15,31	
2—2½	12	1008	832	176	17,46	21,9
	13	526,4	449	77,4	14,70	
	14	336,2	223,5	112,7	33,52	
3—4	18	448,1	310,6	137,5	30,7	29,9
	20	570	403,8	166,2	29,2	
5—5½	22	556,2	253,2	303	54,5	54,5

Die Resorption der Kohlehydrate steigt mit der fortschreitenden Verdauung an und ist bei den bewegten Tieren mit vermehrter Kohlehydratverdauung auch stets bedeutend beträchtlicher als bei den ruhenden. Der Unterschied tritt sofort auch in der ersten

Stunde deutlich hervor, bestätigt also unseren diesbezüglichen Schluss bei der Resorption der Trockensubstanz, bei Ruhe schwankt hier die Resorption zwischen 0,5 und 6%, bei Bewegung zwischen 10 und 23%. Auch in den späteren Stunden ist bei den bewegten Tieren die Kohlehydratresorption durchschnittlich 10% höher. Es ist somit der Schluss berechtigt, dass die Körperbewegung einen fördernden Einfluss auf die Resorption der Kohlehydrate im Magen ausübt.

Tabelle XII.

Resorption des Eiweisses.

Verdauungsstunde	Nummer	Gewicht des Mageninhaltes g	Körpereiweiss[1] g	Gefundenes Eiweiss im Mageninhalt g	Gewicht des aus dem Hafer stammenden Eiweisses g	Aus der Rohfaser berechnetes Eiweiss g	Resorbiert g	Resorbiert %	Mittel %	Art der Körperbewegung
1—1½	1	3640	21,8	188,1	166,3	174,6	8,3	4,8	16,1	Ruhe
	2	4100	24,6	158,7	132,1	173,7	41,6	23,9		
	3	3200	19,2	112,2	93	111,2	18,2	16,4		
	4	3364	20,2	126,5	106,3	131,5	25,2	19,2		
2—2½	8	3970	23,8	197,8	174	189,7	15,7	8,3	11,3	
	10	2920	17,5	139,2	121,7	147,6	26,1	17,7		
	11	3165	19	148,3	129,3	140,3	11	7,8		
3—4	15[2])	3520	16,9	156,1	139,2	176,1	37,5	21,2	28,9	
	16	3135	18,8	121,5	102,7	136,3	33,6	24,7		
	[17	2320	13,9	73,4	59,5	105,9	46,4	43,8]		
5—5½	21	2905	17,4	95,1	77,7	147,7	70	47,4	47,4	
1—1½	5	3550	21,3	179,3	158	170,7	12,7	7,4	8,6	Bewegung
	6[2])	4900	18,7	166,8	148,1	160,1	12	7,9		
	7	3540	21,6	135	113,4	126,6	13,2	10,4		
2—2½	12	4940	29,6	170,6	141	181,3	40,3	22,2	27,9	
	13	4030	24,2	114,8	90,6	133,5	42,9	32,1		
	14	2970	17,8	82,8	65	92,2	27,2	29,5		
3—4	18	2955	17,7	88,7	61	122,9	61,9	50,4	50,9	
	20	3175	19,1	95,2	76,1	156,4	80,3	51,3		
5—5½	22	3950	23,7	126,8	103,7	152,6	48,9	32,5	32,5	

1) 0,6 % des Gesamtinhaltes sind Körpereiweiss (V. Hofmeister).

2) Bei Pferd 6 und 15 fanden sich nur 18,7 und 16,9 g Eiweiss in gelöstem Zustande im Mageninhalte vor. Da die theoretische Berechnung mehr Eiweiss als Körpereiweiss ergeben hätte, wurden nur diese Mengen als aus dem Körper stammend angenommen.

Bei der Berechnung der vorstehenden Tabelle XII, die über die Resorption der stickstoffhaltigen Bestandteile (Eiweiss) des Versuchsfutters Aufschluss gibt, lag, wie oben angedeutet, eine besondere Schwierigkeit darin, dass die im Mageninhalt analytisch ermittelte Menge Eiweiss nicht allein aus den Nahrungsmitteln herstammt, sondern ausserdem noch die Proteïnstoffe des Speichels und der Magensekrete enthält. Um diese in Rechnung zu bringen, bedienten wir uns der Angaben, die V. Hofmeister in seiner Arbeit: „Über die stickstoffhaltigen Bestandteile des Darminhaltes, welche aus dem Tierkörper, aber nicht aus den Nahrungsmitteln stammen", macht. Dieser Autor sagt daselbst[1]: „Einige Stunden nach der Mahlzeit wird man, wenn der Magen sich im mittleren Füllungszustande (3000—4500 g) befindet und möglichst rasch post mortem entleert wurde, nicht mehr als 0,6—0,8 % Eiweiss als Körpereiweiss in Ansatz bringen."

Da in den vorliegenden Fällen durchschnittlich das Gewicht des Mageninhaltes 3000—4500 g betrug, ist in der Tabelle XII das Körpereiweiss mit 0,6 % des Gesamtinhaltes in Anrechnung gebracht worden.

Auch die Eiweissresorption läuft, wie Tabelle XII zeigt, in völlig analoger Weise wie die Eiweissverdauung ab. Wie wir festgestellt haben, ist die Eiweissverdauung in der ersten Verdauungsstunde bei körperlicher Ruhe viel beträchtlicher als bei Bewegung. Dementsprechend finden wir, dass in dieser Zeit bei Ruhe ungefähr doppelt soviel Eiweiss aufgesaugt worden ist als bei Bewegung. In den späteren Stunden hingegen zeigt sich deutlich, dass die Resorption bei bewegten Tieren bedeutend weiter fortgeschritten ist als bei den ruhenden, also auch hier laufen Resorption und Verdauung vollkommen parallel. Das hiermit nicht übereinstimmende Resultat des Versuches Nr. 22 vermögen wir nicht zu erklären. Wahrscheinlich hängt es mit einem Analysenfehler zusammen, der jedoch nicht mehr aufgefunden und ausgeschaltet werden konnte.

Es sei an dieser Stelle noch hervorgehoben, dass die im vorstehenden niedergelegten Beobachtungen über die Resorptionsvorgänge im Magen des bewegten oder ruhenden Pferdes nicht nur für diesen speziellen Fall, sondern für die Beurteilung der Resorptionsvorgänge im Magen des Pferdes im allgemeinen von Interesse sind. Ausser

1) Arch. f. wissensch. u. prakt. Tierheilk. Bd. 14 S. 47.

einigen Notizen von Ellenberger und Hofmeister und einer auf Veranlassung dieser Autoren angestellten Arbeit Goldschmidts[1]): „Über die Resorption im Pferdemagen" liegen weitere Bearbeitungen dieser Frage nicht vor. Unsere grosse Versuchsreihe dürfte für die Kenntnis dieser Vorgänge infolgedessen nicht unwesentlich sein. Zunächst konnten wir im vorstehenden zeigen, dass die Resorption vollkommen mit der Magenverdauung parallel läuft, indem bei weit fortgeschrittener Verdauung auch die Grösse der aufgesaugten Mengen steigt und umgekehrt. Damit wird die Annahme Goldschmidt's (loc. cit. S. 427) bestätigt. Was schliesslich den absoluten Wert der im vorstehenden angegebenen Resorptionszahlen anlangt, so ist darauf hinzuweisen, dass die Zahlen für die Kohlehydratresorption im allgemeinen etwas zu hoch gegriffen sein dürften. Ein Teil des durch die Amylolyse gebildeten Zuckers wird bekanntlich durch Milchsäuregärung sofort zerlegt und geht dadurch der Kohlehydratanalyse verloren. Wir haben diesen Faktor nicht mit in Rechnung gezogen, da die Vergleichbarkeit unsere Resultate darunter nicht leiden konnte, andererseits ist aber der durch die Milchsäuregärung entstehende Verlust auch nach der Untersuchung von Ellenberger und Hofmeister kaum sehr erheblich, umsomehr, als auch eine Resorption der Milchsäure im Magen stattfindet.

Die Werte für die Eiweissresorption sind, wie mehrfach erwähnt, nicht absolut richtig, dürften aber, da alle Fehlerquellen so gut als möglich ausgeschaltet worden sind, als annähernd richtig zu betrachten sein. Ferner ist zu beachten, dass sich in der Regel der Verdauungsgrad und demnach also auch die Resorption nach der im Magen vorhandenen Futtermenge richten wird. Je geringer diese ist, um so weiter wird die Verdauung fortgeschritten sein. Wir werden also bei unseren Versuchen (die Versuchstiere erhielten bekanntlich nach 36stündiger Karenz nur 1500—2000 g Hafer) im allgemeinen etwas hohe Resorptionszahlen erhalten haben.

Diese Einschränkungen gelten nur für die Betrachtung der von uns gefundenen Zahlen als absolute, die Resorption in den einzelnen Stadien der Verdauung kennzeichnende Werte.

An dem Gesamtergebnis unserer Betrachtungen über die Resorption im Pferdemagen vermögen sie daher Änderungen nicht hervorzurufen.

---

1) Zeitschr. f. physiol. Chem. Bd. 11 S. 421.

Die Resorption der Kohlehydrate und des Eiweisses im Pferdemagen hängt innig mit der Verdauung zusammen und läuft dieser vollkommen parallel. Sie beginnt schon in der ersten Verdauungsstunde und erstreckt sich auch schon in dieser sowohl auf die Kohlehydrate wie auf Proteïnstoffe der Nahrungsmittel.

Während sie anfänglich nur geringfügig ist, steigt sie mit zunehmender Verdauung so an, dass durchschnittlich in der fünften bis sechsten Verdauungsstunde ca. 50% der im Magen enthaltenen, aus der Rohfasermenge berechneten Nährstoffe resorbiert worden sind.

Die Resorption unterliegt analog der Verdauung nicht unerheblichen Schwankungen durch individuelle Einflüsse.

Einen zahlenmässigen Vergleich unserer Resultate mit denen Goldschmidt's hier anzustellen, erscheint unzweckmässig, da Goldschmidt stets nur ein Versuchspferd für jede Verdauungsstunde verwandt hat, seine Resultate also den individuellen Schwankungen, deren Bedeutung aus unseren zahlreichen Parallelversuchen hervorgeht, in weitestem Masse unterworfen sind. Da ausserdem Goldschmidt die durch die Körperbewegung bedingten Verschiedenheiten (nach persönlicher Mitteilung des Institutsvorstehers haben, wie oben erwähnt, einige dieser Versuchstiere einen längeren Weg in der Zeit zwischen Nahrungsaufnahme und Tötung zurückgelegt) nicht mit berücksichtigen konnte, war es ihm auch nicht möglich, irgendwelche Gesetzmässigkeiten festzustellen. Die von ihm erhaltenen Zahlen fallen im allgemeinen alle in die von uns erhaltenen Grenzen zwischen Minimal- und Maximalwert der zusammengehörigen Versuche. Übrigens kommt Goldschmidt[1]) am Schlusse seiner Abhandlung zu fast derselben Folgerung wie wir, indem er sagt: „Schliesslich bemerken wir, dass der grösste Teil der verdauten N-freien Stoffe und ein beträchtlicher Teil des verdauten Eiweisses in und nach der sechsten Verdauungsstunde resorbiert ist.“

IV. Einfluss der Bewegung auf Verdauung und Resorption im Dünndarme.

Wie in der Einleitung hervorgehoben worden ist, hatten unsere Untersuchungen auch noch den Zweck, festzustellen, ob auch die Ver-

1) Zeitschr. f. physiol. Chem. Bd. 11 S. 427.

dauungs- und Resorptionsvorgänge im Dünndarm einer Beeinflussung durch die Körperbewegung unterworfen wären. Diese Fragen lagen um so näher, als von anderen Seiten und auch bei den früheren Untersuchungen im hiesigen Institut festgestellt worden war, dass der Übertritt des Mageninhaltes in den Dünndarm beim Pferde schon sehr zeitig, wahrscheinlich schon während der Nahrungsaufnahme beginnt, der Beginn der Magen- und Dünndarmverdauung also zeitlich nahezu zusammenfällt. Eine Berücksichtigung des Dickdarminhaltes, d. h. des Inhaltes des Caecums, musste ausgeschlossen werden, weil in diesem Darmabschnitte stets noch erhebliche Überreste früherer Mahlzeiten zugegen sind, wenn Teile der neuen Mahlzeit in denselben eintreten, so dass es hier zu Durchmischungen der Überreste verschiedener Mahlzeiten kommen muss. Da nun auch, wie eingangs nachgewiesen worden ist, ein Übertritt von Nahrungsteilchen in das Caecum erst in den späteren, der fünften bis sechsten Verdauungsstunde erfolgt, konnte, wenn sich an die Untersuchung des Mageninhaltes die des Dünndarminhaltes anschloss, festgestellt werden, wie sich die gesamte Verdauung der aufgenommenen Hafermenge und die Resorption der verdauten Nahrungsstoffe gestaltete. Leider stellten sich diesem Plane praktische Schwierigkeiten entgegen, die seine Ausführung nicht nur hemmten, sondern teilweise sogar vereitelten. Wer jemals die enormen, teilweise bis 9000 g wiegenden, schleimigen Inhaltsmassen des 22 m langen Pferdedünndarmes gesehen hat, wird die dem Chemiker bei der Verarbeitung entgegenstehenden Schwierigkeiten ohne weiteres zu beurteilen wissen. Einmal bestehen diese darin, dass es fast unmöglich ist, genügende, d. h. brauchbare Mittelproben aus einer mehrere Kilogramm wiegende Flüssigkeitsmenge, die nur etwa 2—3 % Trockensubstanzgehalt hat, zu entnehmen, dann aber werden die Irrtümer, die durch unvermeidliche Analysenfehler entstehen, ebenfalls infolge der grossen Massen ausserordentlich beträchtliche.

Betrachten wir zunächst die in der folgenden Tabelle XIII zusammengestellten Daten, welche den jeweiligen Dünndarminhalt und die in ihm enthaltene Wassermenge sowie die entsprechende Prozentzahl darstellen.

Was die Inhaltsmengen anlangt, so scheint allerdings eine Abnahme dieser mit der fortschreitenden Verdauung einzutreten, was um so auffälliger ist, da ja, wie wir nachgewiesen haben, in allen Fällen die Hauptmenge der aufgenommenen Nahrungsstoffe

sich immer noch im Magen vorfindet. Der Wassergehalt hält sich konstant auf 96—98 %, wie er auch bei den früheren Untersuchungen im hiesigen Institut nachgewiesen worden ist. Die Körperbewegung scheint nicht ohne Einfluss auf den Wassergehalt zu sein, wenigstens ist in der ersten Verdauungsstunde der Darminhalt der bewegten Pferde wasserreicher als der der ruhenden. In den späteren Stunden verwischt sich der Unterschied vollkommen; es scheint also ein Ausgleich einzutreten oder der Einfluss der Individualität von grösserer Bedeutung als der der Körperbewegung zu sein. Immerhin ist es nicht unwahrscheinlich, dass analog der Magenschleimhaut wenigstens in den ersten Verdauungsstunden auch die Darmschleimhaut und deren Anhangsdrüsen (Leber und Pankreas) durch die Körperbewegung zu vermehrter Sekretion angeregt werden.

Tabelle XIII.

Wassergehalt des Dünndarminhaltes.

Verdauungsstunde	Ruhe				Bewegung			
	Nr.	Inhalt g	Wasser g	Wasser %	Nr.	Inhalt g	Wasser g	Wasser %
1—1½	1	6940	6742	97,2	5	2770	2723	98,3
	2	6000	5816	96,9				
	3	5610	5318,3	94,8	6	4510	4475	99,2
	4	4640	4471	96,4	7	5282	5129	97,1
2—2½	8	6510	6380	98,0	12	6370	6172	96,7
	9	6060	5703	94,1				
	10	3980	3776	94,9	13	7985	7802	97,7
	11	4580	4366	95,3	14	8540	8076	94,6
3—3½	15	6200	5945	95,9				
	16	5455	5253	96,3	18	4695	4404	93,8
	17	9050	8837	97,6				
4—4½	19	4335	4235	98,1	20	3855	3720	96,5
5—5½	21	3250	3123	96,1	22	3250	3130	96,5

Bei der Betrachtung der bei der Berechnung der Darmverdauung und Resorption gewonnenen Resultate zeigte es sich, dass Schlüsse mit der Sicherheit wie bei den analogen Berechnungen im Magen nicht gezogen werden können. Zunächst ist der Grund hiervon darin zu suchen, dass, wie wir oben nachgewiesen haben, immerhin nur verhältnismässig geringe Anteile des Mageninhaltes im Verlaufe der von uns beobachteten Verdauungsstunden in den Darm übertreten, die Hauptmenge derselben aber im Magen zurückbleibt. Die Ver-

dauung des Darminhaltes ist infolgedessen in allen Fällen meist ausserordentlich vorgeschritten; die Resultate zeigen nur noch geringe Unterschiede, die innerhalb der Fehlergrenzen liegen und nicht mehr zu irgendwelchen Schlüssen berechtigen. Ferner sind aber für den Darminhalt durch die grossen Sekretmassen, die aus der Darmschleimhaut und ihren Anhangsdrüsen und schliesslich auch aus dem Magen stammen, derartig verwickelte Verhältnisse geschaffen, dass zuverlässige Berechnungen ausgeschlossen erscheinen.

Aus diesen Gründen beschränken wir uns darauf, im folgenden nur die den wenigsten Fehlern ausgesetzte Berechnung der Verdauung und Resorption der Kohlehydrate anzuführen.

Tabelle XIV.

Kohlehydratverdauung im Dünndarm.

Verdauungsstunde	Ruhe						Bewegung					
	Nummer	Gefundene Kohlehydrate im Darminhalt	Ungelöste Kohlehydrate	Aus der Rohfaser berechnet	Verdaut		Nummer	Gefundene Kohlehydrate im Darminhalt	Ungelöste Kohlehydrate	Aus der Rohfaser berechnet	Verdaut	
		g	g	g	g	%		g	g	g	g	%
1—1½	1	87,4	30,7	232,9	202,7	87	5	16,2	0,1	75,9	75,8	100
	2	79,5	20,7	227	206,3	90,9						
	3	62,8	46,8	167,3	120,5	72,1	6	4,4	0	5,6	5,6	100
	4	30,5	24,5	135,4	110,9	81,9	7	22,6	13,1	108,6	95,5	88
2—2½	8	52,1	28,8	180,9	152,1	84,1	12	105,5	37,3	225,2	187,9	83,4
	10	43,5	19,8	129,6	109,8	84,7	13	39,3	25,6	90,3	74,7	82,7
							14	94	32,1	289,5	257,4	88,9

Tabelle XIV gibt die Verdauung der Kohlehydrate im Dünndarm, soweit die analytischen Bestimmungen ausgeführt werden konnten, an und zeigt, dass in der ersten Stunde die Verdauung der Kohlehydrate der bewegten Pferde am weitesten fortgeschritten ist. Das ist wohl eine Folge davon, dass nur sehr geringe Mengen des Mageninhaltes, deren theoretischer Kohlehydratgehalt bei drei Versuchstieren zwischen 6 g und 108 g schwankte, aus dem in seiner Motilität gehemmten Magen in den Darm übergetreten sind. Diese geringen Mengen mussten naturgemäss einer rascheren und gründlicheren Verdauung im Darm unterliegen als die grösseren Kohlehydratmengen 110 g bis 206 g, die beim ruhenden Pferde übergetreten sind.

In der zweiten bis dritten Verdauungsstunde sind Verschiedenheiten nicht mehr festzustellen; es tritt also Ausgleich ein.

Tabelle XV.

Kohlehydratresorption im Dünndarm.

Verdauungsstunde	Ruhe					Bewegung				
	Nr.	Gefunden	Berechnet	Resorbiert		Nr.	Gefunden	Berechnet	Resorbiert	
		g	g	g	%		g	g	g	%
1—1½	1	87,4	232,9	145,5	62,5	5	16,2	75,9	59,7	78,6
	2	79,5	227	147,5	65					
	3	62,8	167,3	104,5	62,5					
	4	30,5	135,4	104,9	77,5	7	22,6	108,6	86	79,2
2—2½	8	52,1	180,9	128,8	71,2	12	105,5	225,2	119,7	53,2
	10	43,5	129,6	86,1	66,4	13	39,3	90,3	61	67,6
						14	94	289,5	195,5	67,5
3—3½	16	17	133,3	116,3	87,3					
	17	44,2	181,9	137,7	75,7	18	40,2	151,9	111,7	73,5
4—4½	19	2,3	27,2	24,9	91,6	20	9,8	57,8	48	83,1
5—5½	21	4	38,7	34,7	90,9	22	0	50,5	50,5	100

Die Resorptionstabelle zeigt ebenfalls nur in der ersten bis zweiten Stunde erhebliche Unterschiede; auch hier korrespondiert die Resorption mit der Verdauung, indem in der ersten Stunde bei Bewegung die Resorption entsprechend der Verdauung höher als bei Ruhe ist. Auch hier verschwinden die Unterschiede in den späteren Stunden vollkommen. Wir gelangen dementsprechend zu dem Schlusse, dass ein Einfluss der Körperbewegung auf die Kohlehydratverdauung und Resorption im Dünndarm nur in der ersten Verdauungsstunde nachzuweisen ist, und zwar ist derselbe auch hier wie im Magen ein fördernder.

Über die Resorption und Verdauung von Eiweiss und Trockensubstanz lassen sich aus dem vorhandenen Analysenmaterial keine Schlüsse ziehen. Unterschiede, die auf den Einfluss der Körperbewegung zurückzuführen wären, treten nicht deutlich hervor, und die Schwankungen, die regellos auftreten und nur sehr gering sind, hängen wohl lediglich von der Individualität der Versuchstiere ab. Vor allem lassen sich aber deshalb keine Schlüsse ziehen, weil das aus dem Körper stammende Eiweiss des Dünndarminhaltes trotz der in dieser Richtung vorgenommenen Untersuchungen von Ellenberger

und Hofmeister und Goldschmidt in keinem Falle zu bestimmen ist. Bei der grossen Menge des Darminhaltes ist es aber von grossem Einflusse, wieviel Prozent Eiweiss man für Körpereiweiss ansetzt.

Die vorstehenden Erörterungen berechtigen zu der Folgerung, dass die Körperbewegung auf Verdauung und Resorption der aus dem Magen in den Darm übergetretenen Inhaltsmassen, also auf Verdauung und Resorption im Dünndarm einen erheblichen Einfluss nicht ausübt. Ist dies überhaupt der Fall, so dürfte er sich, wie die Betrachtung der die Verdauung und Resorption der Kohlehydrate anzeigenden Tabellen XIV und XV ergibt, lediglich auf die erste bis zweite Verdauungsstunde erstrecken. In den späteren Stunden tritt völliger Ausgleich ein; Unterschiede werden nur durch die Individualität des Versuchstieres bedingt.

V. Einfluss der Körperbewegung auf die gesamte Verdauung und Resorption einer verabreichten Mahlzeit.

Nachdem wir im vorstehenden gezeigt haben, dass der Einfluss der Körperbewegung auf die Verdauungs- und Resorptionsvorgänge im Dünndarm nur unwesentlich ist, und dass er, insoweit ein solcher überhaupt nachgewiesen werden konnte, vollkommen dem Einfluss auf die Magenverdauung gleicht, war vorauszusehen, dass die Betrachtung der gesamten Verdauungs- und Resorptionsvorgänge, die sich im Magen und Dünndarm abspielen (die Verdauung im Dickdarm kann bei unserer Versuchsanordnung nicht in Betracht kommen), im wesentlichen das gleiche Bild wie die Magenverdauung geben würde.

Die gesamte Verdauung wurde in der Weise berechnet, dass wir die im Magen und Darm ungelösten Nährstoffe feststellten und deren Summe von der in der Versuchsmahlzeit verabreichten Nährstoffmenge abzogen. Bei der Gesamtresorption wird von den verabreichten Mengen stets der in den Gesamtinhalten festgestellte Rest an Nährstoffen abgezogen, also das festgestellt, was verschwunden war. Waren schon Teile des Versuchsfutters in den Blinddarm gelangt, so konnte dies daraus ersehen werden, dass auch Rohfaser aus Magen und Dünndarm verschwunden war. Die dieser verschwundenen Rohfasermenge entsprechenden Nährstoffmengen wurden

selbstverständlich in Anrechnung gebracht. Bei der Berechnung der Eiweissresorption mussten noch die aus dem Körper stammenden Eiweissmengen in Rechnung gebracht werden, was so exakt, als es nach den darüber vorliegenden, mehrfach zitierten Arbeiten möglich war, geschehen ist.

Ist die Voraussetzung, dass die Gesamtverdauung im Magen und Dünndarm wesentlich ein Bild der Magenverdauung ist, richtig, so wird sich das am deutlichsten bei einem Vergleich der entsprechenden Prozentzahlen der Trockensubstanzverdauung zeigen. Die Trockensubstanz enthält ausserdem sämtliche verdauliche Nährstoffe, ihr Verhalten bei der Verdauung muss also den besten Überblick über die fraglichen Verhältnisse geben.

In der folgenden Tabelle XVI sind die Prozentzahlen der Magenverdauung, d. h. die Verdauung der im Magen verbliebenen Nahrungsmittel, und der Gesamtverdauung der Trockensubstanz nebeneinander gestellt, soweit sie nach den vorhandenen Analysen berechnet werden konnten.

Tabelle XVI.

Verdauungsstunde	Ruhe			Bewegung		
	Nr.	Magenverdauung %	Gesamte Verdauung %	Nr.	Magenverdauung %	Gesamte Verdauung %
1—1½	3	15,57	12,8	6	12,79	12,9
	4	14,97	16,5	7	26,15	33,1
2—2½	10	27,49	36,2	13	21,9	27,7
	11	17	23,7	14	43,06	58,7
3—3½				18	40,12	39,3
4—4½				20	41,33	43
5—5½				22	50,8	50,1

Die Zusammenstellung zeigt, dass tatsächlich die Gesamtverdauung völlig unter dem Einflusse der im Magen geschaffenen Verhältnisse steht, indem sie vollkommen analog mit dieser verläuft. So zeigen Pferd 3 und 4 eine annähernd gleiche Magenverdauung und dementsprechend annähernd gleiche Gesamtverdauung. Bei Pferd 14 ist die Verdauung im Magen ungefähr doppelt so weit fortgeschritten wie bei Pferd 13; ganz dieselben Unterschiede zeigt die Gesamtverdauung. Ein gleichmässiges langsames Ansteigen mit zunehmender Zahl der Verdauungsstunden ist ebenfalls nachzuweisen.

Schliesslich zeigen die acht Versuche der ersten beiden Stunden, dass auch eine Steigerung der Gesamtverdauung durch die Körperbewegung unverkennbar ist.

Auf Grund dieser Tabelle ist anzunehmen, dass auch Gesamteiweiss- und Kohlehydratverdauung der Magenverdauung analog verlaufen werden. In den folgenden Tabellen sind die Prozentzahlen der Gesamtverdauung von Kohlehydraten (Tab. XVII) und Eiweiss (Tab. XVIII) denjenigen der Gesamtresorption derselben Nährstoffe gegenübergestellt.

Tabelle XVII.

a) Gesamtverdauung und Resorption der Kohlehydrate.

Verdauungsstunde	Ruhe			Bewegung		
	Nr.	Verdaut %	Resorbiert %	Nr.	Verdaut %	Resorbiert %
1—1½	1	18,9	14,8	5	25,1	12,7
	2	23,9	19,1			
	3	32,4	25,4	6	40,4	23
	4	26,5	16,3	7	25,1	26,2
2—2½	8	24,4	18,9	12	33,9	24,1
	9		21,7	13	44,3	21,8
	10	48,3	20	14	64,9	49,3
3—3½	15		18,7			
	16		23,9	18		43,9
	17		51			33,9
4—4½	19		30,4	20		58,3
5—5½	21		48,2	22		

Tabelle XVII zeigt deutlich, dass Verdauung und Resorption ganz analog wie im Magen voneinander abhängig sind, so dass eine stärkere Verdauung auch eine stärkere Resorption der Nährstoffe nach sich zieht. Ein Einfluss der Körperbewegung lässt sich unzweideutig nachweisen. Während beim ruhenden Pferd in den zwei ersten Stunden durchschnittlich 25,4 % der Kohlehydrate verdaut sind, sind beim bewegten Pferd nach derselben Zeit schon 30,2 % in Lösung gegangen. In der zweiten bis dritten Verdauungsstunde zeigt sich der Unterschied noch deutlicher, indem bei Ruhe durchschnittlich 36,3 %, bei Bewegung 47,7 % der verfütterten Kohlehydrate verdaut worden sind.

Die Körperbewegung hat also einen die Kohlehydratverdauung steigernden Einfluss ausgeübt.

Die Resorption der Kohlehydrate ist ebenfalls günstig durch die Körperbewegung beeinflusst, also gesteigert worden. In der ersten bis zweiten Stunde sind durchschnittlich 18,9 % bei Ruhe, gegen 20,7 % bei Bewegung, resorbiert; in der zweiten bis dritten Stunde ist das Verhältnis sogar 20,2 %: 31,7 %, entsprechend dem ebenfalls grösseren Unterschiede der Mittelzahlen der prozentischen Verdauung. Die Resorption steigt mit zunehmender Verdauungszeit; in der fünften bis sechsten Stunde sind bei Ruhe 48,2 %, bei Bewegung 58,3 % der gesamten verfütterten Kohlehydrate als resorbiert anzusehen.

Tabelle XVIII.

b) Gesamtverdauung und Resorption des Eiweisses.

Verdauungsstunde	Ruhe			Bewegung		
	Nr.	Verdaut %	Resorbiert %	Nr.	Verdaut %	Resorbiert %
1—1½	1	23,7	22	5	14	10
	2	50,9	44,1			
	3	46,4	36,6	6	8,4	5,6
	4	38,7	27,7	7		13,6
2—2½	8	23	21	12	48,4	33,1
	9		35			
	10	41,4	20,2	13	59,9	44,1
	11	34,9	8,9	14	62,1	32,2
3—3½	15		33,4			
	16		40,2	18		50,4
	17		65,3			
4—4½	19		37,8	20		55,7
5—5½	21		50,9	22		38

Wie wir bei der Betrachtung der Verdauung und Resorption des Eiweisses im Magen gezeigt haben, ist in der ersten bis zweiten Verdauungsstunde ein hemmender Einfluss der Körperbewegung deutlich nachzuweisen. Dieselben Verhältnisse lassen sich auch aus der vorstehenden Tabelle deutlich erkennen. Also auch bei der Eiweissverdauung sind die im Magen geschaffenen Verhältnisse massgebend für die Gesamtverdauung. Während in der zweiten bis dritten Stunde beim ruhenden Pferde Verdauung und Resorption ungefähr auf derselben Höhe wie in den Anfangsstunden bleiben, sind sie durch die Körperbewegung in mächtiger Weise gefördert worden, so dass nicht nur die in den beiden ersten Stunden geschaffene Differenz ausgeglichen worden, sondern zugleich eine nicht unbeträchtliche Überschreitung der Prozentzahlen bei Ruhe eingetreten ist.

Die Verdauungs- und Resorptionsvorgänge im Magen und Dünndarm stehen demnach völlig unter dem Einflusse der Magenverdauung. Die Körperbewegung verursacht zunächst eine erhebliche Verminderung in der ersten bis zweiten Stunde nach der Nahrungsaufnahme, in den späteren Stunden hingegen eine Steigerung gegenüber den Verdauungsvorgängen, die in den gleichen Zeitabschnitten beim ruhenden Tiere ablaufen. Was die absoluten Werte der vorstehenden Resorptionstabelle anlangt, so sind diese, wie öfter betont, nur annähernde, da eine genaue Berechnung der durch den Körper ausgeschiedenen Eiweissmenge unmöglich ist. Ausserdem machen sich die individuellen Verschiedenheiten in erhöhtem Masse geltend, so dass nur auf Grund mehrerer Versuche annähernd richtige Schlüsse gezogen werden können. Man darf daher wohl annehmen, dass nach zwei bis drei Stunden 30—55 % der aufgenommenen Eiweissmenge verdaut und 20—35 % resorbiert worden sind. Nach vier bis fünf Stunden dürften 50 % sicher resorbiert sein.

Schlussbetrachtung.

Unsere Untersuchungen bezweckten, den Einfluss zu studieren, den eine sogleich nach erfolgter Nahrungsaufnahme stattfindende Körperbewegung auf die Vorgänge der Verdauung und Nährstoffabsorption ausübt. Dass wir bei diesen an einer grösseren Anzahl von Pferden ausgeführten Untersuchungen zugleich Gelegenheit nahmen, auch andere, die Verdauungsvorgänge der Einhufer betreffende Fragen ihrer Lösung entgegenzuführen und die Ergebnisse früherer, in unserem Institut bezüglich der Verdauungsvorgänge der Haustiere vorgenommenen Untersuchungen zu ergänzen und zu kontrollieren, bedarf kaum der Erwähnung.

Die Hauptergebnisse der im vorstehenden in allen ihren Einzelresultaten geschilderten Versuche und die aus diesen zu folgernden Schlüsse möchte ich in folgende Sätze zusammenfassen:

1. Die während der Verdauung stattfindende Körperbewegung beeinflusst die Bewegungen des Magens in der Weise, dass die Beförderung des Mageninhaltes nach dem Dünndarm, also die Entleerung des Magens, erheblich verzögert wird, so dass man demnach von einem die Magenbewegung hemmenden Einflusse der Körperbewegungen

sprechen kann. Diese Beeinflussung der Magenbewegungen ist auch bereits bei Schrittbewegung des Tieres zu konstatieren. Bei einem bewegten Pferde, welches eine mässige Mahlzeit naturgemässer Nahrungsmittel zu sich genommen hat, gelangen in den ersten Verdauungsstunden nur ganz geringe Bruchteile des Mageninhaltes in den Darm.

In den späteren Verdauungsstunden tritt die hemmende Wirkung der Körperbewegung auf die Magenmotilität nicht mehr so bedeutend in Erscheinung als in den ersten Verdauungsstunden. Sie ist aber immerhin noch deutlich wahrnehmbar.

2. Der Mageninhalt der bewegten Tiere ist stets reicher an Wasser als der der ruhenden, und zwar schwankt der Wassergehalt bei den ersteren zwischen 70 und 80 %, bei den letzteren zwischen 60 und 70 %.

Diese Tatsache ist nicht nur bei unseren 23 Versuchstieren, sondern auch bei einer grossen Anzahl anderer Pferde, an denen im hiesigen Institute in dieser Richtung von dem Institutsvorsteher und seinen Mitarbeitern (V. Hofmeister, Goldschmidt, Tangl) Untersuchungen angestellt wurden, festgestellt worden.

3. Der hohe Wassergehalt des Mageninhaltes bewegter Tiere ist in erster Linie auf eine durch die Körperbewegung hervorgerufene, gesteigerte Wassersekretion der Magenschleimhaut und nur geringgradig auf die gehemmte Wasserbeförderung nach dem Darm zurückzuführen.

Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass man im Magen bewegter Pferde erheblich mehr Wasser findet, als man in Hinblick auf die bei der Haferaufnahme erfahrungsgemäss sezernierte und abgeschluckte Speichelmenge und auf den Wassergehalt des Hafers theoretisch erwarten sollte, während bei den ruhenden Pferden weniger Wasser im Magen gefunden wird als nach der theoretischen Berechnung vorhanden sein konnte.

4. Trotz des hohen Wassergehaltes tritt auch bei den nicht nur im Schritt, sondern auch im Trabe und ausnahmsweise auch im Galopp bewegten Tieren eine Durchmischung des Mageninhaltes durch die Bewegungen des Magens nicht ein.

Man kann in physikalischer und chemischer Beziehung deutliche Unterschiede zwischen dem Inhalte des cardia- und des pylorusseitigen Abschnittes des Magens feststellen. Auch der Inhalt der mittleren Magenportion ist verschieden von dem der rechten und linken Magenabteilung.

Bei ruhenden und nur ganz leicht bewegten Tieren ist die Tatsache der Nichtdurchmischung des Mageninhaltes von Ellenberger

und seinen Mitarbeitern Hofmeister und Goldschmidt bei Pferden, Hunden und Schweinen schon früher durch chemische Untersuchungen und einfache Betrachtung mit dem Auge festgestellt worden. Die von der Mehrzahl der Physiologen immer noch als eine Tatsache gelehrte Durchmischung des Mageninhaltes durch die Magenbewegungen existiert also nicht.

5. Die im Magen des Pferdes recht erhebliche Kohlehydratverdauung wird durch die Körperbewegung bedeutend gesteigert.

Ungefähr drei Stunden nach Beendigung der Nahrungsaufnahme waren von den mit dem Hafer in den Magen gelangten und daselbst verbliebenen (also nicht nach dem Darm übergetretenen) Kohlehydraten (Stärke) bei dem ruhenden Pferde ca. 30—40 %, also ca. 1/3 derselben, verdaut. Bei den bewegten Tieren war dies schon zwei Stunden nach Beendigung der Nahrungsaufnahme der Fall. Die Bewegung hatte also die Stärkeverdauung derart gesteigert, dass in zwei Stunden so viel verdaut wurde als beim ruhenden Tier in drei Stunden. In gleicher Weise hatte das ruhende Tier zwei Stunden post pabulum erst ebensoviel Stärke gelöst als das bewegte in einer Stunde. Das letztere spart also eine Stunde Verdauungszeit. Mit andern Worten kann man diese Tatsachen auf Grund unserer Untersuchungsergebnisse auch so ausdrücken, dass man sagt, bei gleicher Verdauungszeit sind im Magen eines bewegten Tieres während der ersten Verdauungstunden 10 % Stärke mehr verdaut worden als bei einem ruhenden. Die Erklärung für diese Tatsachen ist S. 172 gegeben worden.

6. Die Verdauung der stickstoffhaltigen Bestandteile der Nahrungsmittel bezw. des Eiweisses im Magen wird in der ersten Stunde nach der Nahrungsaufnahme durch die Körperbewegung erheblich herabgesetzt, in den späteren Verdauungsstunden dagegen gesteigert; die Proteolyse ist also beim ruhenden Pferd zunächst bedeutender, später aber geringer als beim bewegten.

Die geringgradige, beinahe fehlende Proteolyse in der ersten Verdauungsstunde beim bewegten Tiere ist die Folge des grossen Wassergehaltes und der grossen Menge des Mageninhaltes. Dadurch kann die Salzsäure in der ersten Zeit nicht die für die Proteolyse nötige Konzentration erreichen.

7. Die Körperbewegung regt die gesamte Magensaftsekretion und damit auch die Sekretion der Enzyme und der Salzsäure an.

Die Anregung der Wassersekretion wurde schon unter 5 erwähnt. Dass aber auch die die Digestion veranlassenden Bestandteile der Magensekrete bei Körperbewegung lebhafter sezerniert werden als bei ruhenden Tieren, beweisen die unter 5 und 6 angeführten Tatsachen. Die Steigerung der Amylolyse und vor allem die der Proteolyse ist nur auf diese Weise zu erklären. Die durch ge-

steigerte Wassersekretion und gehemmte Motilität bedingten ungünstigen Verhältnisse für die Eiweissverdauung der bewegten Pferde werden durch die gesteigerte Enzymbildung nicht allein bald ausgeglichen, sondern sogar erheblich überkompensiert.

8. Nicht nur die Verdauung, sondern auch die Nährstoffabsorption des Magens wird durch die Körperbewegung gefördert. Beide stehen in einem proportionalen Verhältnisse. Die Menge der aufgesaugten Kohlehydrate ist bei den bewegten Tieren bei gleicher Verdauungszeit ca. 10 % höher als bei den ruhenden. Die Aufsaugung der stickstoffhaltigen Bestandteile ist analog ihrer Verdauung in der ersten Stunde bei den bewegten Pferden geringer als bei den ruhenden. Später überwiegt sie bei den bewegten ganz bedeutend.

9. In der fünften Verdauungsstunde ist sowohl bei den ruhenden als auch bewegten Tieren durchschnittlich die Hälfte der im Magen verbliebenen, also aus dem Nahrungsmittel stammende Kohlehydrate und Eiweisskörper als aufgesaugt zu betrachten; selbstverständlich ist unter dem Einflusse der Körperbewegung die Menge des Aufgesaugten den in Punkt 8 geschilderten Schwankungen unterworfen.

Über die aufsaugende Tätigkeit des Magens herrschen sehr verschiedene Ansichten. Aus den Ergebnissen unserer jetztigen und zahlreichen früheren Untersuchungen müssen wir auf eine erhebliche aufsaugende Tätigkeit des Magens schliessen. Die nähere Begründung dieser Schlussfolgerung ist an anderer Stelle gegeben worden. Vor allem ist in dieser Beziehung darauf hinzuweisen, dass

10. das Vorrücken der Bestandteile der aufgenommenen Nahrungsmittel im Magen und Dünndarm gleichmässig abläuft, dass also nicht etwa die schwer verdaulichen und unverdaulichen Bestandteile zurückbleiben und die leicht verdaulichen lebhafter vorrücken.

Man kann also aus der Menge der im Magen oder einem Dünndarmabschnitt vorhandenen Rohfaser auf die Menge der Nährstoffe schliessen, die daselbst ungelöst und gelöst vorhanden sein müssten, wenn nichts verdaut bezw. nichts resorbiert worden wäre. Somit kann man aus dem, was an Gelöstem und Ungelöstem im Verhältnis zur vorhandenen Rohfaser fehlt, auf die Menge des Verdauten und Resorbierten schliessen. Tabelle VI bringt in Übereinstimmung mit Tangl's Anschauungen hierfür bis zur dritten bis vierten Verdauungsstunde den rechnerischen und experimentellen Nachweis.

11. Die Verdauung und Resorption im Magen ist erheblicher, als man gewöhnlich, namentlich in Hinblick auf die bei Magenexstirpationen

gemachten Erfahrungen, annimmt. Mindestens bis zur sechsten Verdauungsstunde befindet sich die Hauptmenge der aufgenommenen Nahrung im Magen, und zwar zunächst mehr bei bewegten als bei ruhenden Tieren, und unterliegt dort einer sehr ausgiebigen Verdauung.

12. Der Übertritt des Mageninhaltes in den Dünndarm beginnt schon sehr frühzeitig, wahrscheinlich schon während der Nahrungsaufnahme. Jedoch sind die übertretenden Mengen niemals beträchtlich, so dass stets nur verhältnismässig geringe Anteile der Futtermittel im Dünndarm anzutreffen sind. In Übereinstimmung mit Ellenberger und Goldschmidt fanden auch wir, dass ein Übertritt von Futterteilen in den Dickdarm erst in vier bis fünf Stunden nach der Mahlzeit zu erfolgen pflegt.

13. Die Verdauung und Resorption des bereits in den Dünndarm übergetretenen Chymus, also die Verdauungs- und Absorptionsvorgänge im Dünndarm, werden durch die Körperbewegung nur wenig beeinflusst. Für die erste und allenfalls für die zweite Verdauungsstunde kann eine Vermehrung des Wassergehaltes des Dünndarminhaltes und eine geringe Steigerung der Verdauung und Resorption der Kohlehydrate bei den bewegten Tieren mit ziemlicher Sicherheit festgestellt werden. In den späteren Verdauungsstunden verhalten sich bewegte und ruhende Pferde gleich. Jedenfalls ist die Beeinflussung der Dünndarmverdauung durch die Körperbewegung ohne Belang.

14. Die gesamte Verdauung der Nährstoffe einer aufgenommenen Mahlzeit wird durch die Körperbewegung erheblich beeinflusst und zwar gefördert. Diese Beeinflussung muss nach den obigen Darlegungen der auf die Magenverdauung stattfindenden gleich sein. Durchschnittlich sind in der zweiten bis dritten Verdauungsstunde von den gesamten im Futtermittel enthaltenen Kohlehydraten (Stärke) 35—50 %, von den stickstoffhaltigen Bestandteilen (Eiweiss) 33—55 % verdaut worden, je nachdem das Tier bei Ruhe oder bei Bewegung verdaute.

15. Die Gesamtaufsaugung erfährt ebenfalls eine erhebliche Förderung durch die Körperbewegung; sie korrespondiert mit der Gesamtverdauung und steht somit auch unter dem Einflusse der Aufsaugung im Magen. In der zweiten bis dritten Verdauungsstunde sind im allgemeinen von den Gesamtkohlehydraten 20—30 %, von den gesamten stickstoffhaltigen Bestandteilen 20—35 %

aufgesaugt worden. Fünf Stunden nach der Nahrungsaufnahme dürften von beiden durchschnittlich 50—60 %, also die Hälfte, als resorbiert anzusehen sein. Auch hier gilt die erste der beiden Zahlen für die bei Ruhe, die zweite für die bei Bewegung herrschenden Verhältnisse.

16. Tiere, welche vor der Mahlzeit bewegt wurden, ohne dass Übermüdung eintrat, und die dann während und nach der Mahlzeit ruhten, verhielten sich wie ruhende Tiere. Sie zeigten weder lebhaftere Verdauungsvorgänge noch eine Hemmung der Magenmotilität, so dass keine Unterschiede zwischen ihnen und den ruhenden Tieren hervortreten. Die in dieser Richtung angestellten Versuche sind daher nicht besonders erwähnt worden.

Die vorstehend, namentlich unter 5—8, 14, 15 gemachten Angaben, dass die Körperbewegung die Sekretion der Magen- und Darmdrüsen und der Anhangsdrüsen des Darmes steigert und dass sie dadurch eine recht erhebliche Förderung der gesamten Verdauungsvorgänge und Nährstoffabsorption hervorruft, steht mit den üblichen Ansichten und mit der bekannten Vorschrift „post coenam stabis aut mille passus meabis“ scheinbar in einem direkten Gegensatze. Solche Regeln wie die angegebene beruhen auf Erfahrungen; sie beweisen mindestens, dass die Mehrzahl der Menschen sich nach eingenommener Mahlzeit am wohlsten bei Ruhe (im Sitzen oder Stehen) oder bei einer sehr geringgradigen Bewegung fühlt.

Nun könnten ja die Verhältnisse beim Menschen andere als bei den Einhufern sein; denn generalisieren ist stets bedenklich. Nehmen wir aber an, dass im vorliegenden Falle der Mensch sich ebenso verhält wie das Pferd, dann müssen wir versuchen, die vorliegenden Widersprüche aufzuklären. Dies ist möglich, wenn man eine andere von uns festgestellte, allerdings auch mit den landläufigen Anschauungen in Widerspruch stehende Tatsache berücksichtigt.

Die Körperbewegung setzt die Motilität des Magens herab, hemmt seine Entleerung und steigert die Wassersekretion. Sie hat also zur Folge, dass sich im Magen ein relativ grosses Quantum von Inhalt anhäuft. Diese grosse, lang andauernde Füllung des Magens muss belästigend auf Mensch und Tier wirken. Die Atmung wird dadurch beeinträchtigt, die Nerven des Magens und die der benachbarten Organe werden gedrückt usw.

So erklären sich vielleicht die vom Menschen an sich selbst gemachten Beobachtungen, dass man sich bei Ruhe, namentlich nach

reichlichen Mahlzeiten, wohler fühlt als bei Bewegung. Bei starker Magenfüllung sucht sich der Organismus dadurch Erleichterung zu verschaffen, dass Entleerungen des Darminhaltes eintreten und so Platz für den erweiterten Magen geschaffen wird. So beobachtet man auch bei Tieren, die nach der Mahlzeit bewegt werden, öftere Defäkationen.

Gegen die von uns gezogenen Schlussfolgerungen könnte noch der Einwand erhoben werden, dass wir unsere Versuche an älteren Tieren gemacht haben und dass diese durch die Bewegung in höherem Grade beeinflusst worden seien, als dies bei jungen Tieren der Fall gewesen sein würde. Richtig ist es, dass, wie gerade durch unsere Versuche bewiesen wird, die Verdauungs- und Resorptionsvorgänge in ganz erheblichem Masse durch individuelle Verschiedenheiten der Versuchstiere, namentlich durch Alter und Rüstigkeit, beeinflusst werden, und dass fast alle unsere Versuche an Tieren gemacht worden sind, die sich in einem relativ hohen Lebensalter befanden. Voraussichtlich wird auch bei ihnen die Verdauung etwas träger abgelaufen sein als bei jüngeren Tieren. Letzteres ist aber gleichgültig, weil ja die Vergleichstiere, die zu den Versuchen bei Ruhe und Bewegung benutzt wurden, sich in gleichem Lebensalter befanden. Der Einwurf, dass die alten Tiere durch die Bewegung in höherem Grade als junge Pferde beeinflusst würden, wird weiterhin deshalb hinfällig, da wir unseren Tieren auch nur eine ihrem Kräftezustand angemessene Anstrengung zugemutet haben; niemals wurden sie bis zur Ermüdung oder gar Erschöpfung bewegt. Jüngere Tiere hätten ganz andere und schwerere Arbeitsleistungen verrichten müssen. Wir glauben daher, dass auch dieser Einwurf unseren Resultaten in keiner Weise Abbruch tun wird.

(Aus dem Laboratorium für experim. Pathologie der Universität Wien.)

Über die Beeinflussung der die Herztätigkeit regulierenden Nerven durch Abkühlung und Erwärmung der Herzoberfläche.

Von

Dr. **Rudolf Hatschek.**

I.

Seit E. Weber schon darauf aufmerksam machte, dass Wärme die Frequenz und Kraft der Herzschläge vermehre, Kälte sie herabsetze, ist die directe Einwirkung verschiedener Temperaturen auf das Herz nicht nur bei den Kaltblütern, sondern auch bei den Warmblütern gründlich studiert worden, und wir verdanken insbesondere den bekannten Versuchen Langendorff's am überlebenden Katzenherzen exacte Aufschlüsse. Langendorff[1]) konnte das ausgeschnittene Katzenherz bis zu Temperaturen von 6—7 ° C. herab schlagend erhalten, andererseits für kurze Zeit bis 45 ° C., ja sogar bis 49 ° C. erwärmen. Er stellte fest, dass dabei die Herzschläge pro Minute von 1—2 in der Kälte bis 300 in der Wärme variierten, während Martin sie beim Hunde zwischen 18—273 schwanken sah. Das Optimum für die Zahl der Herzschläge wurde zwischen 40,6 und 43,3 gefunden, es ist jedoch verschieblich und kann bei Wiedererwärmung des vorsichtig abgekühlten, schon überhitzt gewesenen Herzens höher hinauf getrieben werden. Auch für die Contractionsstärke besteht ein Optimum, das nach Langendorff tiefer liegt als die Körpertemperatur der Warmblüter. Bei Kälteeinwirkung auf das Herz und auch bei Überhitzung kann Arythmie eintreten. Starke und länger dauernde Abkühlungen können solche Veränderungen am Herzmuskel hervorrufen, dass ein regelmässiger frequenter und kräftiger Herzschlag sich nachher auch bei Erwärmung nicht mehr wieder herstellt.

1) Vgl. hierüber Langendorff in: Ergebnisse der Physiologie Bd. 2 (2) S. 523.

Die interessante Frage, in welchem Sinne eine Beeinflussung der die Herztätigkeit regulierenden Nerven erfolgt, wenn verschiedene Temperaturen auf die Herzoberfläche einwirken, ist von Stewart am Kaltblüter, und zwar an Frosch, Kröte und Schildkröte studiert worden, für das Warmblüterherz aber bis jetzt noch nicht klargestellt worden. Bei den Stewart'schen Versuchen[1]) wurde das Herz in Verbindung mit den extracardialen Nerven in Kochsalzlösung verschiedener Temperatur gegeben, teils auch wurde das Herz im Körper gelassen und durch Glasröhren, die darum gelegt wurden, mit kalter oder warmer Flüssigkeit umspült. Es wurden dann Reizversuche einerseits mit dem Sympathicus, andererseits mit dem extracraniellen Vagus — also vagosympathicus gemacht. Stewart kam dabei zu folgenden Resultaten: Für Sympathicusreizung ergibt sich durch die Kälte eine Verminderung der Erregbarkeit, doch verträgt der Sympathicus Herzabkühlung bis zu 15° C.; bei Erwärmung nimmt die Erregbarkeit des Sympathicus bis zu einem gewissen Optimum zu, dabei wird die Latenz verkürzt. Beim Vagus ist die inhibitorische Aktion — Pulsverlangsamung und Abnahme der Amplitude zu unterscheiden von der augmentatorischen Aktion, die ja durch die im Vagusstamm mitverlaufenden Sympathicusfasern vermittelt wird. Hierbei ist die von Gaskell und Heidenhayn beim Frosch gefundene Tatsache zu berücksichtigen, dass manchmal die augmentatorischen Fasern überwiegen, so dass bei Reizung des Vagusstammes als primäre Wirkung eine Beschleunigung oder Zunahme der Schlaggrösse eintritt. Stewart ermittelte nun, dass, wenn der Vagus bei gewöhnlicher Temperatur eine inhibitorische Aktion als primäre Wirkung entfaltete, die auch bei Abkühlung oder Erwärmung des Herzens der Fall war; doch war die inhibitorische Aktion des Vagus bei Abkühlung eine quantitativ geringere, bei Erwärmung eine grössere. Die secundäre augmentatorische (Sympathicus) Wirkung bei Reizung des Vagusstammes fiel bei höherer Temperatur stärker aus, machte sich aber bei sehr hoher Temperatur weniger in der Frequenzzunahme als in dem Anwachsen der Herzcontractionsgrösse kenntlich.

Bei der Herzabkühlung nahm die augmentatorische Action ab, ohne jedoch gänzlich aufzuhören; solange eine primäre Inhibition

---

1) G. N. Stewart, The influence of temperature and of endocardiae pressure on the heart etc. Journ. of Physiol. vol. 13 p. 69 u. ff.

stattfand, kam es zu einer — quantitativ freilich sehr verminderten — secundären Augmentation. Alle diese Erscheinungen waren beim Frosch und der Kröte stärker ausgeprägt als bei der Schildkröte.

Wenngleich ähnliche Versuche am Warmblüterherz, wie es scheint, noch nicht vorgenommen wurden, so liegen doch eine Reihe von Angaben darüber vor, wie sich die Erregbarkeit des Vagus und auch des Accelerans bei verschiedener Körpertemperatur verhält, und zwar sowohl bei Warmblütern wie bei Kaltblütern. Horvath[1]), der Kaninchen durch Bedecken mit Schnee abkühlte, dabei aber den Hals freiliess, um den Vagusstamm selbst nicht stärker abzukühlen, fand, dass von einer Körpertemperatur von ca. 23° C. abwärts die peripheren Vagusenden völlig unerregbar werden. Schiff gab an, dass der Vagus seine Wirksamkeit bei Erhitzung des Tieres (Kaninchen) verliere, bei Abkühlung wieder gewinne. Lauder-Brunten dagegen behauptete — ebenfalls am Kaninchen — auch bei möglichst grosser Erwärmung Vaguswirkung vorgefunden zu haben. Lepine und Tridon haben bei der Schildkröte die hemmende Wirkung des N. vagus in der Wärme vermisst, in der Kälte wiederkehren gesehen. J. M. Ludwig und Luchsinger[2]) stellten beim Frosch und bei der Schildkröte fest, dass starke Abkühlung des Vagus selbst für stärkste Reize unempfänglich macht, seine Erregbarkeit steigt mit der Temperatur und scheint selbst in den höchsten letalen Temperaturen noch immer anzuwachsen. Baxt[3]) hat bei seinen bekannten Untersuchungen über die gegenseitigen Beziehungen zwischen Vagus und Accelerans die Tiere (Hunde) in einem doppelwandigen Kasten erwärmt bezw. abgekühlt und kam zu dem Schlusse, dass die Vaguswirkung vollständig von der Körpertemperatur unabhängig ist, dass dagegen die Acceleranswirkung beim erwärmten Tiere eine intensivere wird und bei Abkühlung rasch abnimmt. Friedenthal[4]) fand bei jungen Hunden, die abgekühlt wurden und mit Nebennierenextract behandelt waren, dass bei einer Herztemperatur von 10° C.

---

1) Horvath, Beiträge zur Wärmeinanition. Wiener medicin. Wochenschr. 1870, S. 721.

2) J. M. Ludwig und B. Luchsinger, Zur Physiologie des Herzens. Pflüger's Arch. Bd. 25 S. 216.

3) Baxt, Über die Stellung des N. vagus und accelerans. Berichte der Dresdener Akademie, math.-naturw. Classe 1875.

4) Friedenthal, Beitrag zur Frage nach den Beziehungen des Nervensystems zum Automatismus des Herzens. Centralbl. f. Physiol. Bd. 15 S. 625. 1902.

die Erregbarkeit des Vagus und Accelerans völlig erloschen war. Alle die genannten, in ihren Resultaten übrigens recht widersprechenden Versuche können nur zum Teil für die Beantwortung der uns interessierenden Frage herangezogen werden, da ja bei diesen Untersuchungen nicht nur das Herz, sondern zugleich auch der ganze übrige Körper, also auch das Centralnervensystem und die extracardialen Nerven verschiedenen Temperaturen ausgesetzt waren. Wir wissen aber, namentlich durch die Untersuchungen von Howell, Budgett und Leonard[1]), ferner von Boruttau, dass die Leitfähigkeit der Nerven bei verschiedener Temperatur der Nerven eine wechselnde ist; von noch wesentlicherer Bedeutung ist die von Cyon[2]) ermittelte, von Stefani bestätigte Tatsache, dass die isolierte Erwärmung bezw. Abkühlung (Stefani) des Centralnervensystems einen erheblichen Einfluss auf die Herztätigkeit hat. Cyon isolierte den Kreislauf des Schädels und leitete durch die Hirngefässe Blut von verschiedener Temperatur unter möglichst normalem Druck. Beim Durchleiten von heissem Blut (47—48 ° C.) trat regelmässig starke Pulsverlangsamung sofort auf, solange die Vagi nicht durchschnitten waren.

II.

Um nun beim Warmblüter die Frage der Beeinflussung der Herznerven durch die Temperaturänderung des Herzens selbst zu studieren, benutzten wir ein von Professor v. Basch ersonnenes Verfahren, welches die isolierte Abkühlung und Erwärmung des Herzens sehr gut durchführen lässt. Diese einfache und sinnreiche Methode besteht in Folgendem: Eine Hohlnadel wird mit einem kurzen, dünnen, weichen Gummischlauch armiert, der mit relativ grossen, seitlichen Öffnungen versehen wird. An das andere Ende des Gummischlauches wird ein Glasröhrchen vom Kaliber der Hohlnadel angefügt. An dem morphinisierten und curarisierten, künstlich geatmeten Tiere wird nun der Thorax in der Mittellinie geöffnet und die Hohlnadel vorsichtig durch das Pericard durchgeführt, so dass der Gummischlauch zwischen Herz und Pericard zu liegen kommt.

---

1) Howell, Budgett and Leonard, The effect of stimulation and of changes in temperature upon the irritability and conductivity of Nerve-fibres. The Journ. of Physiol. vol. 16 S. 303.

2) Cyon, Über den Einfluss der Temperaturveränderungen auf die centralen Enden der Herznerven. Pflüger's Arch. Bd. 8 S. 345.

Die Ein- und Ausstichöffnungen werden dann dadurch verschlossen, dass das dieselben umgebende Pericard einerseits an den Stiel der Hohlnadel, andererseits an das Glasrohr am Ende des kurzen Schlauches umbunden wird. Es ist der Pericardialraum auf diese Weise nach aussen wieder vollständig abgeschlossen, er communiciert aber mit dem Gummischlauch durch dessen weite seitliche Öffnung. Wird nun durch das Glasrohr in den Gummischlauch kalte oder warme Kochsalzlösung unter geringem Druck eingeleitet, so fliesst ein Teil der Flüssigkeit wohl direct durch die Hohlnadel ab, ein anderer Teil aber gelangt durch die Communicationsöffnung in den Pericardialsack, wird durch die Herzbewegung im Pericardialraum verteilt und zum Abfluss gebracht[1]). Der Druck, unter dem die Flüssigkeit einströmt, darf natürlich kein grosser sein, damit kein erhebliches Hydropericard entsteht und dadurch eine Compressionswirkung auf das Herz ausgeübt wird. Wir haben den Flüssigkeitsspiegel in dem Zuflussgefäss nur einige Centimeter bis 0,1 Decimeter höher als das Herzniveau eingestellt. Bisweilen comprimierte bei diastolischer starker Ausdehnung das Herz selbst den Gummischlauch so stark, dass der Zufluss und Abfluss nur spärlich erfolgte und demgemäss die Abkühlung der Herzoberfläche nicht allzutief wurde; in den meisten Fällen gelang es aber sehr rasch, die Herzoberfläche nach Belieben zu erwärmen und abzukühlen. Bei einer Ausflusstemperatur von 44 ° C. wurde an der vorderen Herzwand die Temperatur 42 ° C. abgelesen und bei einer Ausflusstemperatur von 10 ° C. an der vorderen Herzwand 14—18 ° C., an der hinteren 20—24 ° C. Während der Abkühlung bezw. Erwärmung des Herzens wurde nun der Carotisdruck aufgeschrieben und die Erregbarkeitsgrenze des Vagusstammes am Halse sowie der vom rechten Ganglion stellatum abgehenden Accelerantes bei Reizungen mit dem Inductionsstrom geprüft. Im ganzen wurden 17 Versuche — ausschliesslich an Hunden vorgenommen, siebenmal wurden nur die Reizbarkeitsverhältnisse des Vagus untersucht, fünfmal nur die des Accelerans, fünfmal wurden beide Nerven zusammen geprüft.

---

1) Heitler (Centralbl. f. interne Med. 1903 S. 627, Experimentelle Studien über Volumveränderung des Herzens) hat das erwähnte Verfahren nach v. Basch zur Darstellung der Volumveränderung des Herzens mittelst plethysmographischer Methode bereits angewendet. Für unsere Versuche wurde das Verfahren nur insoweit modificiert, als an Stelle der soliden Nadel eine Hohlnadel Verwendung fand, die eben den Durchfluss der Kochsalzlösung ermöglichte.

III.

Unsere Versuche ergaben durchwegs übereinstimmende Resultate in Bezug auf die Acceleranswirkung. Bei Abkühlung des Herzens tritt sehr rasch eine Verminderung der Erregbarkeit des Accelerans ein, dieselbe war bei Einfluss von 12⁰iger Kochsalzlösung schon nach zehn Secunden deutlich nachweisbar. Bei weiterer Fortsetzung der Kälteeinwirkung auf das Herz sinkt die Erregbarkeit des Accelerans immer mehr, doch muss betont werden, dass selbst bei hochgradiger Abkühlung der Accelerans immer noch erregbar bleibt, wenngleich ein viel stärkerer Strom hierzu nötig war. Selbst bei Abflusstemperatur von 10° C., die einer Abkühlung der vorderen Herzwand auf 14—18° C. entsprach, blieb der Accelerans erregbar. Dabei erzielten Stromstärken, die noch nicht hinreichten, um eine deutliche Acceleration zu bewirken, nochmals eine Drucksteigerung. Hand in Hand mit der Abnahme der Erregbarkeit ging auch eine Verlängerung der Latenz. Bei Erwärmung des Herzens trat — jedoch nicht so rasch wie bei der Abkühlung — gleichfalls eine Erregbarkeitsänderung des Accelerans ein, aber im entgegengesetzten Sinne. Die Reizbarkeitsschwelle wurde niedriger. In mehreren Fällen war die Steigerung der Acceleranserregbarkeit eine sehr beträchtliche. Auch hier zeigte sich mitunter bei Verringerung des Stromes unter die Minimalgrenze, welche noch eine accelerierende Wirkung hervorrief, wenigstens das Auftreten einer Drucksteigerung. Mit zunehmender Erregbarkeit verkürzte sich auch die Latenz. Wenn der Erwärmung des Herzens eine Abkühlung durch Einfluss von 16—10°iger Kochsalzlösung durch ca. 10—15 Minuten vorausgegangen war, so konnte durch die folgende Erwärmung eine Steigerung über die bei Kälte wirksame Stromstärke nicht erzielt werden. Allerdings wurde die Erwärmung in diesen Fällen nicht sehr lange fortgesetzt, höchstens 30 Minuten. Es entspricht jedoch dieses Verhalten den Beobachtungen Langendorff's, wonach durch diese Anfangstemperatur bezw. durch andauernde Abkühlungen im Herzmuskel erhebliche Veränderungen entstehen. Nach einer bloss mehrere Minuten dauernden Abkühlung — während welcher natürlich ein Sinken der Acceleranserregbarkeit eintrat — gelang es jedoch durch Erwärmung wieder die Erregbarkeit zu steigern.

Zum Belege der angeführten Tatsachen seien einige charakteristische Stellen der Versuchsprotokolle mitgeteilt:

Versuch 11.

Bei 13 cm Rollenabstand Reizung des Accelerans wirksam, Puls von 2,5 in der Secunde auf 3,5, Latenz 12 Secunden, Einströmen 12°iger Kochsalzlösung; nach 10 Secunden ist Reizung bei 12 cm Rollenabstand völlig unwirksam, nach 2 Minuten ebenso Reizung bei 11 cm Rollenabstand. Nach 2,5 Minuten wird der kalte Zufluss unterbrochen und 40° ige Kochsalzlösung einlaufen gelassen, schon nach wenigen Minuten steigt bei Reizung mit 13 cm Rollenabstand der Puls von 2,5 auf 3,1, Latenz 8 Secunden.

Versuch 12.

Reizschwelle für den Accelerans bei Rollenabstand von 14 cm Puls von 2,0 auf 2,9, Latenz 4 Secunden, Drucksteigerung von 64 auf 66 mm. Bei Zufluss von 27°iger Kochsalzlösung bleiben die Erregbarkeitsverhältnisse völlig gleich. Bei Einfluss von 40°iger Kochsalzlösung ändert sich zunächst auch nichts, da wegen langsamen Durchflusses nur eine Ausflusstemperatur von 34° C. abgelesen wird.

Es wird Kochsalzlösung von 45° C. einfliessen gelassen. Bei Ausflusstemperatur von 40° C. Accelerans, bei 15 cm Rollenabstand erregbar. Puls von 1,85 auf 2,55, Latenz 2 Secunden; Druck steigt von 74 auf 80 nach längerem Durchfluss heisser Salzlösung; bei Ausflusstemperatur von 41° C. erhöht sich die Reizbarkeit des Accelerans, so dass bei Rollenabstand von 17 cm der Puls von 2 auf 2,35 steigt, bei Latenz von 7 Secunden; dabei erhöht sich der Blutdruck von 72 auf 80.

Bei Rollenabstand von 18 cm kommt es zu keiner Acceleration, aber zur Drucksteigerung von 72 auf 78 mm.

IV.

Nicht so ganz eindeutig erwiesen sich die Verhältnisse bei Prüfung der Vaguserregbarkeit. Eine ziemliche Übereinstimmung zeigten die Kälteversuche. Es wurden in zwölf Versuchen Vagusreizungen vorgenommen, während das Herz gekühlt war, in acht Fällen trat eine Steigerung der Reizbarkeit auf, die allerdings mehrmals nur geringfügig war; in vier Fällen stieg dagegen die Erregbarkeit nicht über den ursprünglichen Wert. Allerdings war aber in dreien von diesen vier Fällen die Erregbarkeit des Vagus durch vorhergehende Wärmeeinwirkung auf das Herz herabgesetzt worden, und es kam bei Kälteeinwirkung wieder zu der ursprünglichen Reizhöhe; es war also auch in diesen drei Fällen zwar keine absolute, aber doch eine relative Reizsteigerung durch die Kälteanwendung bewirkt worden. Eine Verminderung der Erregbarkeit des Vagus wurde in keinem Falle bei der Kälteanwendung beobachtet.

Dagegen war das Verhalten bei Wärmeeinwirkung auf das Herz ein verschiedenes. Dieses Verhalten wurde neunmal geprüft.

In drei Fällen trat eine deutliche Steigerung der Vaguserregbarkeit während der Wärmeeinwirkung ein, in sechs Fällen dagegen eine Verminderung. In zwei von diesen sechs Fällen war der Wärmewirkung schon eine Kälteeinwirkung vorangegangen; da aber diese Kälteanwendung den Vagus im Sinne einer Steigerung der Erregbarkeit beeinflusst hatte, so ist in diesen beiden Fällen ebenso wie in den vier anderen, in welchen sofort die Wärme zur Anwendung kam, die Herabsetzung der Reizbarkeit als Wirkung der Herzerwärmung anzusehen.

Zur Illustrierung des Gesagten diene folgender kurzer Auszug aus den Versuchsprotokollen.

Es wurde in den Versuchen das periphere Ende des rechten Vagus gereizt mit Rücksicht auf die Angaben von Arloing und Tripies[1]), die beim Pferde sowohl wie beim Hunde den rechten Vagus wirksamer befunden hatten. Diese Bemerkung können wir insofern bestätigen, als auch wir bei zweimaliger Verwendung des linken Vagus (das eine Mal in einem Vorversuch) denselben viel weniger wirksam gefunden haben. Es wurde im Versuche dann der rechte Vagus nach Durchschneidung des linken gereizt. Auch in anderen Versuchen wurde — aber erst während des Versuches — der linke Vagus durchschnitten. In zwei Versuchen wurden die beiden Vagi gleichzeitig gereizt. Auf unsere Versuchsresultate wirkten diese verschiedenen Reizanordnungen nicht different ein.

Versuch 1.

Rechter Vagus gereizt, linker Vagus intakt; unmittelbar vor Einleitung von 16°iger Kochsalzlösung erweist sich Reizung bei 11 cm Rollenabstand eben wirksam; Puls von 3,35 auf 2,5 (in den ersten 2 Secunden, die der Reizung folgen, ohne jede Andeutung eines diastolischen Druckabfalles. Bei länger fortgesetztem Durchfluss von 16°iger Salzlösung ist auch bei Rollenabstand von 11,5, später bei 12 cm Rollenabstand die Reizung wirksam). Puls dabei von 3,1 auf 2,5 in der Secunde. Allmähliches Absinken des Blutdruckes von 81 mm zu Beginn bis 28 mm zum Schlusse des Versuches.

Versuch 2.

Beide Vagi wurden abgeschnürt und gleichzeitig gereizt. Bei Reizung 14 cm Rollenabstand Grenze der Erregbarkeit; Puls von 3,9 auf 1,5 in den ersten beiden Secunden, Druck 66 mm; tiefster Punkt der Diastole nach Reizung 54, bei Durchfluss von 15°iger Salzlösung ist auch bei 15 cm Rollenabstand deut-

1) Vgl. Tigerstedt, Physiologie des Kreislaufes S. 241. 1893.

liche Vaguswirkung zu erzielen. Puls von 3 auf 2,5, Drucksenkung von 90 mm auf 80 bei Durchfluss von 40° C., erst bei 12 cm Rollenabstand Puls von 3,9 auf 2, Druck von 36 auf 26 mm.

Versuch 3.

Beide Vagi wurden abgeschnürt und gleichzeitig gereizt. Reizgrenze und Rollenabstand von 18 cm, Puls dabei von 3,3 auf 1,75 in den ersten 4 Secunden, nach Vagusreizung Druck von 44 auf 40 mm.

Zuleitung von 13° iger Kochsalzlösung. Es wird 18,5 cm Rollenabstand wirksam, auch 19 cm Rollenabstand, Puls von 2,17 auf 1,75, nach weiterem Durchfluss bei 19 cm Rollenabstand: Puls von 2,3 auf 1,8, Druck von 38 auf 34, später Puls von 1,66 auf 1,33 mm.

Bei Einleitung von 40° iger Kochsalzlösung ist schon nach einigen Minuten der Grenzwert auf 17,5 cm Rollenabstand gesunken, Puls von 3,5 auf 2, Druck von 34 mm auf 26 mm. Bei Wiederaufnahme der Kälteeinwirkung ist zunächst wieder 18 cm Rollenabstand wirksam, dann tritt aber bei stärkerer Arhythmie wieder Abnahme der Erregbarkeit auf 16,5 cm Rollenabstand, die bei Wiederaufnahme der Wärmeanwendung weiter sinkt.

Versuch 4.

Rechter Vagus wird abgeschnürt und gereizt. Linker Vagus anfangs intact, im Verlaufe des Versuches durchschnitten.

Grenzwerte bei Rollenabstand 12 cm, Puls von 2,68 auf 1,5 (in den ersten beiden Secunden); Druck vom Mittel 122 mm auf 98 mm in der Diastole nach der Reizung.

Reizung bei 12,5 unwirksam.

Durchfluss 42° iger Kochsalzlösung. Bei 13 cm Rollenabstand Reizung wirksam, Puls von 3 auf 1,5, Druck von 78 mm auf 58 mm; bei längerer Durchströmung (Ausflusstemperatur 39°) keine weitere Steigerung. Einfluss 12° iger Salzlösung. Nach mehreren Minuten gibt nunmehr auch 14 cm Rollenabstand wirksame Reizung. Puls von 1,6 auf 1,13, Druck von 66 mm auf 42 mm, während der Durchleitung kalten Wassers wird der linke Vagus durchschnitten. Druck steigt auf 152 mm, Puls von 1,6 auf 2,63; starke Hering'sche Wellen. Für die Vagusreizung zeigt sich zunächst etwas Abnahme (12,5 cm Rollenabstand) wirksam. Versuch abgebrochen.

Versuch 5.

Rechter Vagus abgeschnürt und gereizt. Linker Vagus im Beginne intact.

Grenzwerte für Vagusreizung bei 12 cm Rollenabstand: Puls von 2,9 auf 1,3, Druck von 100 mm auf 72 mm.

Einleitung von 11° iger Kochsalzlösung. Bei 14 cm Rollenabstand noch Wirkung. Puls von 2,43 auf 1,7, Druck von 46 mm auf 38 mm. Einfluss von 6° iger Kochsalzlösung. Ausflusstemperatur 14°, Rollenabstand 14 cm. Grenzreaction: Puls von 2 auf 1,5, Druck von 86 mm auf 76 mm — Arhythmie. Vagusdurchschneidung links. Druck steigt auf 127 mm, Puls von 1,65 auf 1,73.

Grenzreaction 14 cm: Puls von 1,73 auf 1,4. Stärkere Arhythmie. Bei weiteren Reizversuchen (Ausflusstemperatur 13,5°) tritt bei Reizung mit 13 cm Rollenabstand Herzstillstand ein.

Versuch 6.

Rechter Vagus gereizt; linker im Anfange intakt. Im Beginne Grenzwert unter 12 cm Rollenabstand; bei 12 cm Rollenabstand kein Vaguspuls, keine diastolische Drucksenkung; geringe Verlangsamung, von 1,86 auf 1,6.

Zufluss kalter 11°iger Kochsalzlösung. Nach längerem (einviertelstündigem) Durchfluss 13 cm Rollenabstand wirksam (Abfluss 17°). Puls von 1,5 auf 0,83. Die Durchschneidung des linken Vagus lässt die Pulsfrequenz unbeeinflusst. Nach weiterem Durchfluss (Abfluss 15° bei 12,5 cm Rollenabstand) Puls von 1,25 auf 0,83. Dabei Druck von 53 mm auf 36; auch nach 5/4stündigem Durchfluss kalter Salzlösung (Abfluss 11°) bleibt 12,5 cm Rollenabstand wirksam und erzeugt Drucksenkung. Der Versuch, durch Ströme von 8 und 5 cm Rollenabstand diastolischen völligen Herzstillstand zu erzielen, gelingt jedoch nicht.

Versuch 14 (combinierter Vagus- und Acceleransversuch).

Rechter Vagus. Grenzreaction bei 15 cm Rollenabstand: Puls von 1,75 auf 1,25, Druck von 40 mm auf 30 mm. Bei Zufluss von heisser Salzlösung dasselbe Verhältnis, keine Steigerung der Erregbarkeit.

Bei Zufluss von 15°iger Salzlösung erhöht sich allmählich die Reizbarkeit des Vagus, so dass bei 17 cm Rollenabstand der Puls von 1,3 auf 0,9, der Druck von 66 mm auf 38 mm sinkt.

Versuch 15 (combinierter Vagus- und Acceleransversuch).

Vagus erregbar bei 16 cm Rollenabstand. Puls von 2,8 auf 1,75, Druck von 142 mm auf 116 mm. Durchfluss heisser Salzlösung; Abflusstemperatur 38°. Vagus erregbar bei 17 cm Rollenabstand, Puls von 2,7 auf 0,75. Durchschneidung des linken Vagus. Puls von 2,7 auf 3,3; vorübergehende Drucksteigerung. Nach vorübergehender weiterer Erregbarkeitssteigerung bis 19 cm Rollenabstand nimmt nach mehreren Minuten die Vaguserregbarkeit wieder ab bis zur Minimalreaction bei 14 cm Rollenabstand.

Versuch 16 (combinierter Vagus- und Acceleransversuch).

Rechter Vagus (linker blieb während des ganzen Versuches intact). Grenzreaction für Vagus (16 cm Rollenabstand): Puls von 1,8 auf 1,16, Druck von 89 mm auf 62 mm. Bei Zufluss heisser Salzlösung und Abflusstemperatur von 39—40° bei 17 cm Rollenabstand: Puls von 2,25 auf 1, bei 18 cm Rollenabstand von 2,2 auf 1,5, Druck von 82 mm auf 66 cm. Keine weitere Steigerung der Erregbarkeit, trotzdem noch die Abflusstemperatur auf 41° steigt. Nach Entfernung des heissen Zuflusses und vor Einleitung kalter Kochsalzlösung Vagusgrenzreaction bei 16 cm Rollenabstand. Bei Zufluss kalter Salzlösung (15°) schon nach drei Minuten Vagus bei 19 cm Rollenabstand erregbar, Puls von 1,63 auf 1,2, Druck von 43 mm auf 34 mm.

Während bei der Acceleransprüfung Herzabkühlung und Herzerwärmung stets in ganz bestimmtem Sinne einwirken, und zwar so, dass die Herzabkühlung die entgegengesetzte Wirkung hervorruft als die Herzerwärmung, herrscht gegenüber dem Vagus kein so constantes Verhältnis. Die Abkühlung scheint zwar immer etwas reizsteigernd zu wirken, wenngleich der Effect häufig kein grosser war und die Reizsteigerung scheint selbst bei langdauernder Kühlung bestehen zu bleiben (bis über eine Stunde). Die Erwärmung scheint in der Minderzahl der Fälle, in welcher sie reizsteigernd wirkt, eine mehr vorübergehende Reizsteigerung zu bedingen, in der Mehrzahl der Fälle scheint sie von vornherein die Reizempfänglichkeit zu vermindern. Erwähnenswert ist noch die Tatsache, dass in zwei Versuchen während der Herzkühlung durch relativ geringe Ströme absoluter Herzstillstand in der Diastole erzielt wurde. In anderen Fällen gelang dies jedoch auch bei Anwendung starker Ströme nicht.

V.

In einer dritten Versuchsreihe wurden Vagus und Accelerans zusammen gereizt, während die Herzoberfläche bald gekühlt, bald erwärmt wurde. Es war hier leicht vorauszusehen, dass bei Kälteeinwirkung ein noch stärkeres Überwiegen des Vagus zustande kommen würde, da durch die Kälteeinwirkung einerseits die Erregbarkeit das Accelerans vermindert, andererseits die des Vagus mehr oder minder gesteigert wird. Dabei ist zu bemerken, dass dieses Verhältnis schon zu Beginn des Versuches vor der eigentlichen Herzkühlung bestehen muss, da ja an sich bei den gewöhnlichen Versuchen durch die künstliche Atmung die Thoraxöffnung usw. eine Abkühlung des Körpers und des Herzens bewirkt wird. Minder eindeutige Resultate waren bei der Erwärmung zu erwarten, und zwar darum, weil dieselbe zwar die Reizschwelle für den Accelerans herabsetzt, aber dafür wenigstens in der Minderzahl der Fälle in gleichem Sinne auch auf die Vaguserregbarkeit einwirkt. Die Versuchsanordnung war zweimal so getroffen, dass beide Nerven in einen Stromkreis geschaltet waren und gleichzeitig gereizt wurden; in den anderen Versuchen wurde jedoch ungleichzeitig gereizt, und zwar haben wir dem Beispiele Stricker's und Wagner's[1]) folgend am häufigsten

1) Stricker und Wagner, Untersuchungen über die Ursprünge und die Function der beschleunigenden Herznerven. Wiener med. Jahrb. 1878 S. 378.

die Reizung des Vagus 12 Secunden nach Beginn der Acceleransreizung einsetzen lassen. Durch die schon erwähnten bekannten Versuche von Baxt wurde die Lehre von der Unabhängigkeit der beiden Nerven begründet. Nach Baxt überwiegt in jedem Falle die Wirkung der Hemmungsfasern des Vagus, selbst wenn dieser mit schwachen, der Accelerans mit starken Strömen gereizt wird; dafür setzt nach Aufhören der Vaguswirkung die Acceleranswirkung wieder ein und läuft unabhängig von der Vaguswirkung wieder weiter. Baxt schloss demgemäss einen Antagonismus zwischen den beiden Nerven aus. Indessen haben schon Stricker und Wagner aus Baxt's eigenen Zahlen sowie aus ihren Versuchen, bei denen sie erst in der zwölften Secunde der Acceleranswirkung den Vagus reizten, gefolgert, dass doch eine Interferenz der beschleunigenden und hemmenden Herznerven stattfinde. Auch folgerten sie aus ihren Versuchen, dass die Accelerantes einen vom Rückenmark aus unterhaltenen Tonus besitzen. Hunt stellte sich dann später durchaus auf den Standpunkt, dass beide Nerven als directe Antagonisten anzusehen seien, und auch andere Forscher wie Muhm, Wertheim und Lépage usw. schlossen sich bis zu einem gewissen Grade dieser Auffassung an.

Bei unseren Versuchen fiel das Resultat nicht gleichartig aus, und das war eigentlich vorauszusehen. In einigen Fällen, und zwar in jenen, in welchen bei Wärmeapplikation eine Steigerung der Erregbarkeit bei isolierter Vagusreizung beobachtet wurde, blieb auch bei combinierter Reizung des Vagus und Accelerans der Vagus überwiegend, und es herrschte bei Wärmeanwendung ungefähr dasselbe Verhältnis wie normal; allerdings machte sich nach Ablauf der Vaguswirkung die Acceleranswirkung in erhöhterem Grade bemerkbar als ohne Erwärmung. Bei der Herzkühlung überwog bei der combinierten Reizung die Vaguswirkung in viel stärkerem Grade als normal. In den anderen Fällen, in welchen die Erwärmung des Herzens bei isolierter Vagusreizung keine Steigerung oder vielmehr eine Verminderung der Erregbarkeit zur Folge hatte, überwog bei relativ gleichem Reizgrade der Accelerans im Verhältnis zum normalen, und es bedurfte eine relative Reizsteigerung, um dem Vagus das Übergewicht zu verschaffen.

Versuch 14.

Grenzreaction des Vagus bei 15 cm Rollenabstand: Puls von 1,75 auf 1,25, Druck von 40 auf 30 mm. Bei Herzerwärmung (Abflusstemperatur 40°) dasselbe

Verhältnis. Vagus bei 15 cm Rollenabstand erregbar. Bei gleichzeitiger Erregung von Vagus und Accelerans in demselben Stromkreis bei 15 cm Rollenabstand Vagus völlig unerregbar. Puls von 1,75 nach Latenz von vier Secunden auf 2, nach weiteren acht Secunden auf 2,25, Druck von 91 mm auf 151 mm.

Auch bei 12 cm Rollenabstand kommt es nur zu Acceleranswirkung, erst bei 10 cm Rollenabstand tritt Vaguswirkung auf, doch steigt schon während der Phase der Verlangsamung der Druck als Acceleranswirkung. Puls von 2,1 auf 1 in den ersten vier Secunden, auf 1,75 in den folgenden zwei Secunden, auf 2 in den folgenden vier Secunden, auf 2,1 in den folgenden zehn Secunden. Druck von 117 mm auf 84 mm in der Diastole, in der siebenten Secunde nach Beginn der Reizung auf 148 mm.

Bei Zufluss von 15°iger Salzlösung Vagus bei 16 cm Rollenabstand reizbar. Puls von 1,83 auf 1,5, Druck von 103 mm auf 76 mm. Bei gleichzeitiger Reizung von Vagus und Accelerans ist schon bei 14 cm Rollenabstand der Vagus wirksam: Puls von 1,37 auf 1 in den ersten vier Secunden, dann wieder auf 1,36. Druck von 78 mm auf 48 mm. Bei Fortsetzung der Kühlung steigt im weiteren Verlaufe des Versuches die Erregbarkeit des Vagus, bis 17 cm Rollenabstand wirksam werden: Puls von 1,3 auf 0,9, Druck von 66 mm auf 38 mm. Die Erregbarkeit des Accelerans sinkt dabei beständig.

Versuch 17.

Rechter Vagus wurde abgeschnürt; bei combinierter Reizung mit dem Accelerans erfolgte die Vagusreizung immer zwölf Secunden später. Bei isolierter Vagusreizung schwache, sehr geringe Wirkung ohne diastolische Drucksenkung. Bei 14 cm Rollenabstand deutliche Wirkung. Bei 13 cm Rollenabstand: Puls von 3,1 auf 1 in den ersten beiden, auf 2 in den folgenden zwei Secunden.

Acceleransreizgrenze bei 12 cm Rollenabstand: Puls von 3,2 auf 3,75 nach 4 Secunden, nach 16 Secunden auf 4. Bei Reizung von Accelerans 12 cm Rollenabstand und 12 Secunden später Vagus 13 cm Rollenabstand. Puls von 3,2 auf 3,7 nach 4 Secunden, auf 0,5 nach 12 Secunden, auf 1 in den folgenden 4 Secunden, auf 2 in den folgenden 2 Secunden, auf 4 in den folgenden 10 Secunden.

Einfluss von 43°iger Salzlösung; Abflusstemperatur 41,5 bei gleicher Reizung von Accelerans und Vagus: Puls von 3,2 auf 3,5 in den ersten 4 Secunden, auf 3,7 in den folgenden 8 Secunden, 1,25 in den folgenden 4 Secunden, auf 1,75 in den folgenden 4 Secunden, auf 2,5 in den folgenden 4 Secunden, auf 4 in den folgenden 8 Secunden.

Nach einiger Zeit der Herzerwärmung: bei gleicher Art der Reizung Puls von 3,6 auf 3,66 in den ersten 4 Secunden, auf 3,83 in den folgenden 8 Secunden, auf 3 in den folgenden 2 Secunden, auf 2,5 in den folgenden 2 Secunden, auf 3,5 in den folgenden 8 Secunden, auf 4 in den folgenden 18 Secunden.

Bei isolierter Reizung liegt der Grenzwert für den Accelerans bei 15 cm Rollenabstand. Puls von 3,3 auf 4. Latenz 16 Secunden. Bei isolierter Vagusreizung 13 cm Rollenabstand schwach wirksam. Puls von 3,3 auf 1,66. Einleitung von 10°iger Salzlösung. Unmittelbar darauf gleiche combinierte Reizung. Puls von 2,6 auf 2,6 in den ersten 12 Secunden, auf 2 in den folgenden 6 Secunden, auf 1,8 in den folgenden 6 Secunden.

Schon nach kurzer Zeit sinkt die Grenze für isolierte Acceleransreizung auf 10 cm Rollenabstand, während der Vagus dauernd bei 13 cm Rollenabstand erregbar bleibt.

In den Versuchen 15 und 16, in denen Wärme eine Reizung der Vaguserregbarkeit bedingte, überwog bei combinierter Reizung der Vagus beim erwärmten Herzen in demselben Verhältnis wie beim normalen. Es entsprachen diese beiden Versuche den Baxt'schen Ergebnissen.

Die angeführten Versuche ergeben also zum Teil die bemerkenswerte Tatsache, dass der Vagus — bei steigender Erregbarkeit des Accelerans — eines wesentlich stärkeren Stromes bedarf, um einen Reizeffect zu erzielen, als wenn er isoliert gereizt wird. Es widerspricht dieses Factum der ursprünglichen Baxt'schen Anschauung und stützt die Ansicht derjenigen, welche, wie bereits erwähnt, einen gewissen Antagonismus zwischen Vagus und Accelerans annehmen.

VI.

Wenn wir die gesammten Versuchsresultate nochmals zusammenfassen wollen, so müssen wir also sagen, dass durch die isolierte Kühlung des Herzens die Erregbarkeit des Accelerans in deutlicher und erheblicher Weise herabgesetzt, dagegen die Erregbarkeit des Vagus im Allgemeinen — wenn auch meist in relativ geringerem Grade — gesteigert wird. Bei isolierter Erwärmung des Herzens wird regelmässig die Erregbarkeit des Accelerans gesteigert, während die Erregbarkeit des Vagus in der Mehrzahl der Fälle vermindert, in einer gewissen Minderzahl aber gleichfalls erhöht wird. Da ein gewisser Antagonismus zwischen Vagus und Accelerans anzunehmen ist, so wird die Resultierende bei simultaner Erregung des gesammten das Herz regulierenden, extracardialen Systemes bei Herzkühlung einen Ausschlag im Sinne der Hemmung geben, bei Erwärmung jedenfalls keine Vermehrung der Hemmung, in der Mehrzahl der Fälle sogar eine Begünstigung der Acceleration erzeugen. Ziehen wir nur die getrennte Wirkung auf den einzelnen Nerven in Betracht, so erweisen sich also Kälte und Wärmeeinwirkung auf das Herz in antagonistischem Sinne wirkend in bezug auf den Accelerans, und zwar in demselben Sinne, wie dies Stewart bei den Kaltblütern fand, also Kälte herabsetzend, Wärme steigernd.

Anmerkung. Nur nebenbei sei hier auf die bekannte Tatsache hingewiesen, dass bei den wärmsten Tieren unter den Warmblütern, nämlich bei den Vögeln, der Vagus relativ am wenigsten wirksam ist und bei Vögeln nur sehr schwierig ein kurzer Herzstillstand durch Vagusreizung zu erzielen ist, während bei den Kaltblütern der Vagus intensivere bezw. andauerndere Wirkungen auf das Herz hervorzurufen vermag, als bei den Warmblütern, so zwar, dass selbst Herzstillstände bis zu $2^{1}/_{2}$ Stunden erzeugt werden konnten[1]). Es bietet diese Erscheinung doch ein gewisses Analogon zu unsern Befunden, die ja im Allgemeinen auch den Vagus bei der Kälte relativ wirksamer erscheinen lassen.

Dagegen decken sich unsere Befunde mit den Stewart'schen für den Vagus der Kaltblüter gefundenen nicht. Auch herrscht hier kein strikter Antagonismus. Zwar scheint Kälte meistens steigernd, Wärme dagegen nur in der Mehrzahl der Fälle herabsetzend zu wirken, während in einer gewissen Minderzahl auch Wärme erregungssteigernd beeinflusst.

VII.

Wohl nur mit grosser Reserve könnten unsere Versuchsresultate für Beurteilung einzelner Fragen der menschlichen Pathologie und Therapie verwendet werden. Für das Verhalten der Herztätigkeit im Fieber kommen ja bekanntermaassen noch andere Momente in Betracht als die Erhöhung der Körpertemperatur. Und auch bei der Erhöhung der Körpertemperatur an sich spielen, wie schon Eingangs erwähnt, nebst der Temperatureinwirkung auf das Herz, verschiedene Factoren mit, die die Herztätigkeit beeinflussen. Die veränderte Leitungsfähigkeit der Nerven dürfte wohl weniger ausschlaggebend sein, da hierzu die Temperaturdifferenzen wohl relativ zu gering sind. Die Erwärmung des Centralnervensystems hingegen wirkt nach Cyon und Stefani nicht in übereinstimmendem Sinne mit der Herzerwärmung, sie erregt nämlich den Vagus ziemlich stark. Ausserdem kommen ja noch die Wirkungen auf die Vasomotoren mit in Betracht. Immerhin wird man aus den beschriebenen Versuchen folgern können, dass alle jene Momente, welche schon an sich erregend auf die Accelerantes einwirken, dies in erhöhtem Grade bei gesteigerter Körpertemperatur tun werden. Dahin würde also alles zu rechnen sein, was arterielle Druckherabsetzung verursacht, dahin ferner andererseits Muskelbewegungen, die, wie namentlich E. H. Hering zeigte, überwiegend durch Accelerans-

1) Vgl. Tigerstedt, Physiologie des Kreislaufes S. 236. 1893.

reizung das Herz beeinflussen. Dies dürfte natürlich ebenso für andere — nicht durch Fieber bedingte — Temperatursteigerungen gelten, und immerhin könnte die gesteigerte Acceleranserregbarkeit auch beim Hitzschlage eine Rolle spielen.

Es wäre auch die Frage zu erwägen, ob die Versuchsresultate nicht auch für die theoretische Begründung der Wirkung der in so ausgedehnter Weise therapeutisch verwendeten localen Herzapplicationen (Umschläge, Kühlschläuche usw.) heranzuziehen wären. Die Wirkung dieser Proceduren wird teils mit directer Einwirkung auf den Herzmuskel (Silva, Winternitz und seine Schüler), teils auch als Reflex durch den thermischen Hautreiz (Goldscheider u. a.) erklärt. Krehl zieht auch die Ableitung durch die locale Hauthyperämie zur Erklärung heran. Die Anwendungsweise selbst ist eigentlich eine empirische. Ein hervorragender Kliniker (Krehl) erklärt sogar direct, dass sich bei Herzkranken nicht im Vorhinein sagen lässt, in welchem Falle Kälte, in welchem Wärme passt. Es wäre am besten zu probieren und die Wünsche der Kranken zu berücksichtigen. Die klinischen Beobachtungen widersprechen sich tatsächlich vielfach. Winternitz und seine Schüler setzen die Anwendung der localen Kälte in ihrer Wirkung vielfach über die Digitalis; Heitler[1]) betont, dass bei localen Herzdampfbädern in der Dauer von 5—15 Minuten der Herzmuskel tonisiert werde. Es träte hierbei Abnahme der grossen und kleinen Herzdämpfung ein, der Puls wurde, ohne sich in der Frequenz zu ändern, kräftiger und voller. Jürgensen hält kalte Umschläge auf die Herzgegend nur indiciert, so lange keine erhebliche Herzschwäche besteht. Krebs glaubt, dass die Hauptwirkung der Herzkühler der durch die letzteren bedingten absoluten Körperruhe zu danken sei.

Die von Winternitz und anderen betonte Puls verlangsamende Wirkung der Herzkühler dürfte ebenso wie die von Heitler beschriebene Wirkung heisser Applicationen auf die Herzgegend jedenfalls auf reflektorischem Wege zustande kommen, da in beiden Fällen die Wirksamkeit in viel kürzerer Zeit sich bemerkbar macht, als dass man an eine Abkühlung oder Erwärmung des Herzens denken könnte. In ähnlicher Weise lässt sich die Herztätigkeit ja auch von anderen Hautgebieten beeinflussen. So fand Winternitz auch bei Kälteanwendung auf

---

1) Heitler, Über die Wirkung thermischer und mechanischer Einflüsse auf den Tonus des Herzmuskels S. 4. Verlag Moritz Perles, Wien 1894.

den Nacken Herzverlangsamung (nach ganz flüchtiger Beschleunigung, die vielleicht, wie wir glauben, analog dem Hering'schen Versuch, indirect durck die vertiefte Inspiration bedingt sein könnte); bei Hitzanwendung auf den Nacken trat primäre Pulsverlangsamung, bei längerer Anwendung Beschleunigung auf. Wie es sich zweifellos hier um einen Reflex handelt, so tritt ein solcher wohl auch von der Haut der Herzgegend aus auf. Für länger dauernde locale Kälte- und Wärmeapplicationen auf die Herzgegend lässt sich jedoch die Möglichkeit einer Tiefenwirkung nicht von der Hand weisen. Zwar bezweifelt Krehl diese Möglichkeit und hält Analogien der Temperaturbeeinflussung anderer Körperteile (Bauchhöhle) nicht für zulässig, indess sprechen doch manche Versuche dafür, so unter anderen die von Silva an Hunden, wobei es gelang, nach $^{3}/_{4}$ stündiger Eisapplication die Vorderwand des Herzens um mehrere Grade abzukühlen und selbst die Temperatur des Herzblutes etwas herabzusetzen. Auch die Versuche von Heinz[1]) stützen diese Annahme, der mit exacter thermoelektrischer Methode nicht nur bei Kaninchen, sondern auch an grossen Pudeln relativ rasche Erniedrigung des Pleuraraumes bei Anwendungvon 10 °igen Compressen fand. Nach 15 Minuten war die Temperatur um 0,5, nach 30 Minuten um 1,5 ° C. gesunken. Die Temperaturerhöhung durch äussere Wärmeapplication dürfte jedoch schwieriger zu erzielen sein. Während unsere Versuche schon im Gange waren, hat M. Herz[2]) die Reactionsfähigkeit des Herzens in vivo in der Weise zu prüfen versucht, dass er nach $^{3}/_{4}$ stündiger Ruhelage mit Eisbeutel und nach solcher mit 45 ° C. Warmschlauch den Puls vor und nach dem Aufstehen und nach abermaligem Niederlegen zählte. Herz kam dabei zu dem Resultat, dass die ruhige Rückenlage das Herz für beschleunigende Reize empfänglicher und gegen verlangsamende resistenter machte, dass ferner die gleichzeitige Abkühlung oder Erwärmung der Herzgegend das Herznervensystem zwar auch für die Acceleration, in noch höherem Grade aber für Reize bahnt, welche eine Verlangsamung der Herzaction herbeiführen. Herz drückt sich allerdings mit Reserve aus, da er diese Pulszählungen nur an einem Individuum vorgenommen hat. Die

---

1) Heinz, Die Wirkung äusserer thermischer und mechanischer Reize auf die Blutverteilung in der Tiefe. Verhandl. des XIX. Congr. f. innere Med. S. 256.

2) M. Herz, Über die Reactionsfähigkeit des abgekühlten oder erwärmten Herzens. Centralbl. f. physikal. Therapie Bd. 1 S. 165 u. 166. Decemberheft 1904.

Resultate von Herz decken sich allerdings nicht mit unsern Versuchen, nach denen Abkühlung und Erwärmung des Herzens — soweit dieselben durch Applikationen auf die äussere Brustwand des Menschen erzielbar sind — nicht gleichsinnig wirken dürften, sondern nach denen Kälte zwar für hemmende, aber nicht für accelerierende Impulse bahnend wirken, Wärme unter Umständen zwar nicht hemmend auf verlangsamende, aber bahnend auf accelerierende einwirken sollte. Indessen sind auch wir durchaus entfernt davon, die im Tierexperimente gefundenen Facten ohne Weiteres auf den Menschen übertragen zu wollen.

Zum Schlusse erlaube ich mir Herrn Dr. Alfred Fröhlich, Assistenten am Laboratorium für experimentelle Pathologie, für seine überaus bereitwillige Unterstützung herzlichsten Dank auszusprechen.

Experimentelle Untersuchungen über Muskelwärme.

Vierte Abhandlung.

Methodik. Vorversuche. Einfluss der Jahreszeit auf die Wärmeproduktion. Wirkungsgrad des Muskels.

Von

Prof. Dr. **K. Bürker,**

Assistent am physiologischen Institut zu Tübingen.

(Hierzu Tafel I—IV.)

Inhalt.

1. Einleitung.

Vor vier Jahren hat M. Blix[1]) über myothermische Methoden berichtet, zu welchen er auf Grund zwanzigjähriger Erfahrung gelangt war. Das Originelle der von ihm am meisten gebrauchten Versuchsanordnung besteht darin, dass nur ein einziges feststehendes Thermoelement aus Konstantan-Kupfer in Anwendung kommt, und dass ferner feuchte Kammer und Galvanometer zu einem Apparate vereinigt sind, was offenbar grosse Vorteile bietet.

Im folgenden soll über eine Versuchsanordnung berichtet werden, welche gleichfalls das Resultat mehrjähriger, freilich in grösseren Zeitabschnitten gewonnener Erfahrungen darstellt, und welche sowohl Wärmemessungen mit mehrgliederigen Thermosäulen verschiedener Art als auch solche mit nur einem Thermoelemente gestattet. Dabei sind aber Galvanometer und feuchte Kammer getrennt.

Massgebend für diese Anordnung waren folgende Überlegungen. Auf keinem Gebiete der experimentellen Physiologie sind Kontrollversuche nach verschiedener Methodik wünschenswerter als auf myothermischem Gebiete; man ist sonst unglaublichen Täuschungen ausgesetzt. Die bisherigen myothermischen Versuche wurden stets mit mehrgliederigen Thermosäulen angestellt, die neueren von M. Blix nur mit einem Thermoelemente; es wird daher zur Vergleichung nützlich sein, wenn bei sonst gleicher Versuchsanordnung sowohl mit mehreren als auch mit nur einem Thermoelemente gearbeitet werden kann.

Es soll ferner möglich sein, die verschiedenen Muskelpräparate zu den Versuchen zu verwenden, wie das Fick'sche Präparat, das Doppel-Gastrocnemiuspräparat, das einfache Gastrocnemiuspräparat. Die Präparate sollen dabei sowohl direkt als auch insbesondere indirekt reizbar sein.

M. Blix hat, soweit ich sehe, den Muskel immer nur direkt gereizt; er konnte in der kleinen Muskelkammer unterhalb des Galvanometers Elektroden, insbesondere unpolarisierbare, wohl nur schwer unterbringen. Es ist aber, abgesehen davon, dass indirekte Reizung die physiologische ist, diese auch insofern vorzuziehen, als eben die Reizströme dann nicht so leicht in den Thermokreis gelangen können.

---

1) M. Blix, Studien über Muskelwärme. Skandin. Arch. f. Physiol. Bd. 12 S. 52. 1901.

Auch die Anwendung anderer Reizarten als nur elektrischer soll zulässig sein.

Die Methode soll ferner dadurch möglichst universell werden, dass sie zugleich die Messung der thermischen, mechanischen und elektrischen Zustandsänderung des Muskels bei der Tätigkeit gestattet, wozu also noch ein weiteres Elektrodenpaar in der Muskelkammer untergebracht werden muss.

All die zur Erfüllung der gestellten Forderungen notwendigen Massnahmen lassen sich aber in einem kleinen Raume unterhalb eines empfindlichen Galvanometers nicht vornehmen, ohne dieses der beständigen Gefahr einer Beschädigung auszusetzen; daher wurde Kammer und Galvanometer getrennt und im Prinzip die Versuchsanordnung beibehalten, wie sie schon früher beschrieben worden ist; sie konnte aber neuerdings noch in einigen wesentlichen Punkten verbessert werden. Graphische Registrierung der Galvanometerausschläge, wie sie M. Blix als erster bei myothermischen Versuchen angewendet hat, ist noch nicht durchgeführt, aber möglich.

Verfasser bedauert sehr, dass durch den frühzeitigen Tod von M. Blix eine gegenseitige genauere Kontrolle der nach verschiedenen Methoden gewonnenen Versuchsresultate unmöglich geworden ist; denn leider enthält die letzte grössere Publikation von M. Blix über Muskelwärme, welche seine bisherigen langjährigen Erfahrungen zusammenfasst, so wenig zahlenmässige Angaben, dass auf Grund dieser Arbeit allein die Kontrolle nur in beschränktem Masse möglich ist.

Im folgenden soll eine Versuchsanordnung beschrieben werden, welche den oben aufgestellten Anforderungen genügen soll.

2. Methodik.

a) Die feuchte Kammer und die Myographien (Fig. 1).

Die Apparate sind dieselben geblieben, wie sie schon früher beschrieben worden sind[1]). Bei der Kammer ist das Prinzip streng durchgeführt: es soll der Binnenraum nur mittelst schlechter Wärmeleiter mit den übrigen Teilen des Apparates und mit der Aussenluft in Verbindung stehen. Ferner sind alle Verknüpfungen des Stromkreises in den Kammerbinnenraum selbst verlegt.

1) Pflüger's Arch. Bd. 80 S. 555. 1900.

Übergestülpt wird ein Glassturz mit doppelten Wänden, in welchen Wasser, eventuell auch eine möglichst adiathermane Flüssigkeit (konzentrierte Ferrosulfatlösung), eingefüllt wird. Aus einer in den Hartgummiboden der Kammer eingeschnittenen und mit Wasser gefüllten Rinne, in welche der Glassturz zu stehen kommt, bezieht der innere Fliesspapierbelag der Kammer das Wasser, um den Kammerbinnenraum mit Feuchtigkeit zu sättigen. Der Glassturz gewährt den grossen Vorteil, dass jederzeit Einblick in die Kammer ohne thermische Störungen genommen werden kann. Bei sehr empfindlichen Versuchen wird über den Glassturz noch ein dickwandiger Kasten aus gepresstem Kork gestülpt. Die Bohrung für das Verbindungsstück des Muskels mit dem unterhalb der Kammer befindlichen Myographion wird durch einen Tropfen dickflüssiges Paraffinöl verschlossen.

Das Myographion ist das Grützner'sche; es ist dem Fick'schen unbedingt vorzuziehen, weil der Druck auf die Achse bei der Grützner'schen Anordnung beträchtlich kleiner ist als bei der Fick'schen, wie folgende Berechnung ergibt.

Angenommen, der Muskel soll bei isotomischer Anordnung nach Fick mit 25 g belastet werden, das Gewicht Q soll 1 cm (q) von der Achse entfernt angreifen, dann muss, von dem Gewichte des Schreibhebels und Verbindungsstückes abgesehen, wenn der Muskel in einer Entfernung von 4 cm (p) von der Achse, wie in unserem Falle, am Hebel ziehen soll, ein Gewicht von 100 g (Q) angehängt werden. Der Achsendruck P_A beträgt dann bei Fick'scher Anordnung

$$P_A = \frac{Q(p-q)}{p} = \frac{100 \cdot 3}{4} = 75 \text{ g},$$

das Dreifache desjenigen Gewichtes, mit welchem der Muskel belastet werden soll.

Zur Bestimmung des Achsendruckes bei Grützner'scher Anordnung sei ein konkreter Fall gewählt. Es soll wiederum ein konstanter Zug von 25 g am Muskel ausgeübt werden; dann zieht meine diesbezügliche Feder, welche ungespannt 5,45 cm, ins Myographion eingespannt 7,50 cm lang ist, entsprechend einem Gewicht von 38 g am Hebel, und zwar unter einem Winkel von 38,5 °, so dass die Muskelbelastung

$$P_M = Q \sin \alpha = 38 \cdot \sin 38{,}5 = 23{,}7 \text{ g}$$

beträgt. Dazu addiert sich noch der Zug des Hebels allein und

des Verbindungsstückes mit insgesamt 1,3 g. Unter diesen Umständen beträgt der konstante Zug am Muskel 25 g mit einem Fehler von ± 0,1 g.

Der Achsendruck beträgt dann bei Grützner'scher Anordnung in diesem Falle

$$P_A = Q \cos \alpha = 38 \cdot \cos 38{,}5 = 29{,}7 \text{ g},$$

also nur das 1,2fache desjenigen Gewichtes, mit welchem der Muskel gespannt werden soll.

Führt man die Berechnung für eine konstante Belastung des Muskels von 50 g aus, so muss unter denselben Bedingungen bei Fick'scher Anordnung ein Gewicht von 200 g angehängt werden, das einen Achsendruck von 150 g ausübt; bei Grützner'scher Anordnung zieht die betreffende Feder mit 77 g Spannung am Hebel, und der Achsendruck beträgt dann 60,3 g; wiederum ist der Achsendruck bei Fick'scher Anordnung dreimal grösser, bei Grützner'scher Anordnung dagegen nur 1,2mal grösser als das Gewicht, welches am Muskel angreift.

Wird das Gewicht bei Fick'scher Anordnung der Achse noch mehr als 1 cm genähert, wie es wohl durchweg der Fall ist, so verschlechtern sich die Verhältnisse noch wesentlich, der Achsendruck wird noch viel grösser und die leichte Beweglichkeit des Systems beträchtlich gestört.

Die gesamte Länge des Schreibhebels beträgt 12,00 cm, die Zuckungshöhe des Muskels wird also dreifach vergrössert aufgezeichnet. Der dem kurzen Stahlhebel aufgesetzte längere Strohhalm wird so leicht als möglich gewählt; dann ist die Zuckungskurve durch keinerlei Eigenschwingungen des Hebels entstellt.

Zwischen Muskel und Schreibhebel ist unterhalb des Kammerbodens noch eine Vorrichtung angebracht, welche gestattet, den Muskel auf der Höhe der Kontraktion zu entlasten[1]). Es ist dadurch möglich, die thermischen Verhältnisse im Muskel während der Verkürzung und Wiederverlängerung durch das fallende Gewicht zu untersuchen, also die thermischen Einzeleffekte zu dem thermischen Gesamteffekte in Beziehung zu setzen. Sollen die thermischen Verhältnisse bei isometrischem Muskelakte untersucht werden, so kommt der früher schon ausführlich beschriebene Muskelspannungszeichner[2]) zur Anwendung. Die Spannung kann bei

1) Abgebildet in Pflüger's Arch. Bd. 80 Taf. VII Fig. 6. 1900.

2) Pflüger's Arch. Bd. 88 S. 107. 1901.

diesem Apparate vielfach variiert und der Forderung genügt werden, dass bei funktionell verschiedenen Muskelpräparaten die gestattete geringe Verkürzung bei isometrischem Akte zu derjenigen bei isotonischem immer in demselben Verhältnisse steht. Die Kurven, welche dieser Spannungszeichner aufzeichnet, sind gleichfalls frei von Eigenschwingungen des Hebels.

Notwendig ist, dass in das Verbindungsstück zwischen Längen- bezw. Spannungszeichner und Muskel wärmeisolierendes Material eingeschaltet wird, welches einen Transport von Wärme zur Thermosäule hin bei Manipulationen in der Nähe der Kammer verhindert; die grosse Temperaturempfindlichkeit des Apparates verlangt dies gebieterisch.

Erwähnt sei noch, dass sich der Schreibhebel des Längenschreibers sowohl wie des Spannungsschreibers horizontal wie auch in jede geneigte Lage von aussen her bringen lässt, ohne dass es nötig ist, die Muskelzwinge, welche den Knochen des Präparates fasst, zu verschieben und damit die Kammer zu öffnen.

b) Die Thermosäulen.

Es wurden früher schon zwei Typen von Thermosäulen beschrieben [1]: die eine, welche den Muskel klammerartig umfasst und ihm dabei die Lötstellen aufdrückt; die andere, welche nach Art der Rubens'schen Thermosäule für strahlende Wärme gebaut ist. Beide Thermosäulen machen die Bewegungen des Muskels mit, wodurch die relative Verschiebung zwischen Muskel und Lötstellen kleiner wird als bei Feststellung der Säulen. Diese Verschiebung der Lötstellen am Muskel ist der wundeste Punkt der ganzen myothermischen Methodik; es muss die Verschiebung entweder möglichst klein sein oder in Muskelpartien vor sich gehen, welche gleichmässig temperiert sind. Auf dem Wege zu diesem Ziele hin wird die Geduld des Untersuchers auf die allerhärteste Probe gestellt.

Die den Muskel umfassende Thermosäule ist auf eine Elfenbeinklammer montiert, welche zwanzig mit Silber als Lot hergestellte Lötstellen von Konstantan-Eisen dem Muskel in seiner Peripherie aufdrückt. Die Lötstellen lagen bei der früher beschriebenen Form dieser Thermosäule dem Elfenbein direkt auf, was zu Störungen Veranlassung gab, die aber dadurch vermieden

1) Pflüger's Arch. Bd. 80 S. 541 und 542. 1900; Bd. 81 S. 403. 1900.

werden konnten, dass ein Falz in das Elfenbein eingeschnitten wurde, über welchen die Lötstellen frei zu liegen kamen. Diese Thermosäule ist sehr bequem zu handhaben und reicht für die allermeisten myothermischen Versuche aus; sie versagt aber, wenn an dem Muskel plötzlich gezerrt oder mit der Zerrung wieder nachgelassen wird; die intensiven Gestaltveränderungen, welche dabei der Muskel erleidet, machen die Angaben der Säule unsicher. Zur Verfügung stehen mir zurzeit zwei solche Thermosäulen: die eine aus 0,30 mm dicken Drähten mit 4,50 Ohm Widerstand bei ca. 15° C., die andere aus 0,15 mm dicken Drähten hergestellt, mit einem Widerstande von 6,90 Ohm.

Universell anwendbar ist, soweit meine Erfahrungen bis jetzt reichen, die der Rubens'schen Thermosäule ähnliche Gittersäule, wie sie im folgenden benannt werden soll. Ihre gleichfalls aus Konstantan-Eisen bestehenden, mit Silber als Lot hergestellten zwanzig Lötstellen kommen nicht auf die Oberfläche eines Muskels, sondern zwischen zwei Muskeln zu liegen. Der Widerstand dieser Säule beträgt 5,04 Ohm bei ca. 15° C.

Gegen die Bewegung der Thermosäulen bei der Muskelzuckung hat M. Blix Bedenken erhoben[1]), weil dabei durch Erdinduktion Ströme entstehen könnten, die also nicht thermischer Natur wären. O. Frank[2]) hält diese Bedenken für nicht ganz stichhaltig, und wohl mit Recht. Erdinduktionsströme können doch nur dann in einer Spule zustande kommen, wenn diese so im Erdfelde bewegt wird, dass die Zahl der Kraftlinien, welche die Spule bei der Bewegung schneiden, zu- oder abnimmt; die induzierte elektromotorische Kraft E ist dann gleich der Intensität des Erdmagnetismus H, multipliziert mit der Geschwindigkeit, mit welcher sich die Zahl der Kraftlinien in bezug auf die Windungsfläche ändert, also

$$E = H \frac{df}{dt},$$

wo df die unendlich kleine Änderung der Kraftlinienzahl in der Zeit dt bedeutet. Die in der Spule gebildete Elektrizitätsmenge wäre dann

$$Q = \frac{1}{w} \int_0^t E \cdot dt,$$

1) a. a. O. S. 80.

2) O. Frank, Thermodynamik des Muskels. Ergebnisse d. Physiol. Jahrgang 3 Abteil. 2 S. 373. 1904.

wo w dem Widerstande der Spule entspricht. Nun ändert sich aber nur die Zahl der Kraftlinien in bezug auf die Windungsfläche bei Drehung der Spule um eine parallel zur Windungsfläche angeordnete Achse, und zwar sowohl bei horizontal als auch bei vertikal gelagerter Achse; bei horizontal gelagerter Achse wirkt dann die Vertikalkomponente, bei vertikal gelagerter Achse die Horizontalkomponente des Erdmagnetismus bei Drehung der Spule um die betreffende Achse. Wird aber die Spule als Ganzes in vertikaler oder in horizontaler Richtung verschoben, dann kann, weil jetzt die Zahl der Kraftlinien in bezug auf die Windungsfläche dieselbe bleibt, von einer Wirkung des Erdmagnetismus auf die Spule keine Rede sein. Die Thermosäulen werden aber wenigstens bei meiner Anordnung als Ganzes bei der Muskelzuckung nach auf- oder abwärts verschoben; es ist daher gar nicht zu verstehen, wie Erdinduktionsströme in der Thermosäule zustande kommen sollen.

Vergrösserte Modelle der Thermosäulen, welche aber statt mit Thermoelementen mit Kupferdraht bewickelt waren, gaben in der Tat bei paralleler Verschiebung als Ganzes keine Erdinduktionsströme, während bei Winkeldrehung derselben um eine horizontale oder vertikale Achse Ströme bis zu der Grössenordnung der Thermoströme, wie sie die Muskelzuckung liefert, entstanden.

Man kann nun aber doch bei Bewegung von Thermosäulen Ausschläge im Galvanometer erhalten, die aber mit dem Erdmagnetismus nichts zu tun haben, sondern offenbar thermischer Natur sind. Man braucht dazu nur die eine Gruppe von Lötstellen mit angefeuchtetem Filtrierpapier zu bedecken, die antagonistische Gruppe aber unbedeckt zu lassen und wird dann, wenn nunmehr die Thermosäule gehoben und gesenkt wird, regelmässig Ausschläge beobachten können. Bedeckt man aber beide Gruppen von Lötstellen mit angefeuchtetem Filtrierpapier, dann bleiben diese Ausschläge aus; sie rühren aller Wahrscheinlichkeit nach her von Temperaturdifferenzen der beiden Gruppen von Lötstellen, welche durch Luftströmungen bei Bewegung der Thermosäulen entstehen, und welche die unbedeckten Lötstellen anders beeinflussen als die bedeckten.

Aber auch noch aus zwei anderen Gründen ist die Bedeckung der dem Muskel nicht zugekehrten Lötstellen mit Muskelsubstanz oder mit angefeuchtetem aschefreiem Filtrierpapier zu verlangen. Erstens wird man beide Gruppen von Lötstellen

zunächst unter möglichst gleiche Anfangsbedingungen zu bringen haben. Zweitens ist der Muskel und damit die ihm anliegenden Lötstellen immer kälter als die Umgebung und die antagonistische Gruppe von Lötstellen; das bedingt aber, wenn man letztere unbedeckt lässt, meist einen so beträchtlichen thermoelektrischen Bestandstrom, dass die Galvanometerskala aus dem Gesichtsfelde des Ablesefernrohrs verschwinden und sobald nicht dahin zurückkehrt, auch wenn der Kammerbinnenraum, in welchem sich Muskel und Thermosäule befinden, mit Wasserdampf völlig gesättigt ist. Bedeckt man aber die äusseren Lötstellen mit aschefreiem angefeuchtetem Filtrierpapier, wie es bei meiner Versuchsanordnung stets geschieht, dann kann der thermoelektrische Versuch 10—20 Minuten nach dem Überstülpen des Glassturzes über Muskel und Thermosäule beginnen.

Neben den beschriebenen mehrgliederigen Thermosäulen kann aber auch, da mir ein neues, sehr empfindliches Galvanometer zur Verfügung steht, nur ein einziges Thermoelement oder besser zwei gegeneinander geschaltete Thermoelemente zur Verwendung kommen, wobei aber nur die eine Lötstelle dem Muskel, dessen Wärme bestimmt werden soll, anliegt. Die andere antagonistische Lötstelle wird auch hier mit angefeuchtetem Filtrierpapier oder Muskelsubstanz bedeckt. Dem Thermoelemente kann die Form gegeben werden, wie sie M. Blix beschrieben hat, d. h. das Thermoelement wird festgestellt, und auf der einen Lötstelle reitet rücklings das Fick'sche Präparat. Man kann aber auch das Thermoelement aus feinen Drähten (0,1 mm Dicke) herstellen und die eine Lötstelle in den Muskel versenken, ohne bei der Feinheit der Drähte allzuviel Verletzungen befürchten zu müssen; das Thermoelement macht dann bei der Kontraktion die Bewegung des Muskels mit.

Die Verbindung der beweglichen Thermosäulen oder des beweglichen Thermoelementes mit den im Kammerraum selbst befindlichen Kupferklemmen der Leitung wird durch dünne (nur 0,15 mm dicke), biegsame Kupferdrähte hergestellt. Mit Hilfe von Quecksilbernäpfchen die Verbindung herzustellen, empfiehlt sich nicht, weil dadurch ein heterogenes Metall in den Thermokreis eingeführt würde.

Ist eine besonders gute Isolierung der Thermoelemente, wie insbesondere bei direkter Muskelreizung, nötig, so kann man

sie nach dem Vorgange von M. Blix[1]) mit einer Lösung von Zelluloid in Alkohol und Äther bepinseln.

c) Die Muskelpräparate.

Bei der Wahl der Muskelpräparate zu myothermischen Versuchen muss als leitender Grundsatz aufgestellt werden: Dasjenige Präparat ist für den jeweiligen Zweck das beste, welches sich bei seiner Zuckung am wenigsten relativ zur Thermosäule verschiebt; ist die Verschiebung nicht zu vermeiden, so soll sie in möglichst gleich temperierten Muskelpartien vor sich gehen.

Der Muskel katexochen für myothermische Versuche ist im Grunde der Gastrocnemius, welcher als gefiederter Muskel be geringer Faserlänge dennoch einen relativ grossen physiologischen Querschnitt hat, sich wenig verkürzt, dabei aber doch beträchtliche Arbeit leistet und Wärme entwickelt. Wenn R. Heidenhain mit seiner keineswegs einwandsfreien myothermischen Versuchsanordnung, bei welcher die auf einem komplizierten Hebelsystem ruhende Thermosäule dem Muskel nur äusserlich leicht angedrückt wurde, so gute Resultate erzielt hat, so verdankt er sie sicher zum Teil der Verwendung des Gastrocnemius als Versuchsobjekt.

Das Gastrocnemiuspräparat kann ferner rasch hergestellt, leicht mit dem Nerven präpariert und somit indirekt gereizt werden. Gerade die leichte Herstellbarkeit des Präparates hat den grossen Vorzug, dass die Widerwärtigkeiten des myothermischen Versuches sich nicht schon gleich zu Anfang geltendmachen, was auf den weiteren Verlauf des Versuches nicht ohne Einfluss ist.

Verfasser benutzt fast ausschliesslich das Gastrocnemiuspräparat, entweder das einfache für die den Muskel umfassende Thermosäule oder das Doppel-Gastrocnemiuspräparat für die Gittersäule; letzteres Präparat wird von einer besonderen Knochenzange gehalten, welche gestattet, den einen Muskel dem anderen so zu nähern, dass beide sich fest aneinander legen und die Gittersäule zwischen sich fassen. In jede Sehne wird ein Muskelhaken eingestochen, die beiden Haken werden durch einen dicken geflochtenen Seidenfaden miteinander verbunden; an diesem Seidenfaden greift erst der Haken des Myographions an. Der Zweck dieser Einrichtung ist der, beide Muskeln immer gleich stark zu spannen.

1) a. a. O. S. 91.

Das Doppel-Gastrocnemiuspräparat ist ausserordentlich dauerhaft und seine Verwendung insbesondere dann angezeigt, wenn Ermüdung für einige Zeit möglichst ausgeschlossen sein soll.

Soll nur ein Thermoelement benutzt werden, so wird die eine Lötstelle des feinen Thermoelementes in den Muskel eingestochen; sie kann aber auch zwischen das Doppel-Gastrocnemiuspräparat eingeschoben werden. Ausser dem Gastrocnemiuspräparat kann nun auch das Fick'sche Präparat Verwendung finden, und zwar sowohl für die den Muskel umfassende Säule als auch für die Gittersäule, als auch für das einfache Thermoelement nach M. Blix oder mit Versenkung der Lötstelle in oder zwischen die Muskeln; der Variationen sind also viele.

d) Die Verbindung der Thermosäulen mit dem Galvanometer.

M. Blix hat auf jede weitere Manipulation im Thermokreise verzichtet und Thermosäule und Galvanometer, unmittelbar miteinander verknüpft, zu einem Apparate vereinigt; man begibt sich aber dadurch einer Reihe von oft notwendigen Variationen im Thermokreise, insbesondere wäre es dann unmöglich, mit ein und demselben Galvanometer die Muskelwärme bei Verwendung sowohl mehrgliederiger Thermosäulen als auch nur eines einzigen Thermoelementes zu bestimmen. Nach unseren Anforderungen aber sollte dies möglich sein. Es sollte ferner möglich sein, die Empfindlichkeit des Galvanometers jederzeit leicht zu prüfen, was, soweit ich sehe, die Blix'sche Anordnung nicht zuliess.

Zu dem Zwecke wurde ein Schaltkasten in die Leitung eingeführt. Bei der Anfertigung der Schaltapparate wurde das Prinzip verfolgt, nur eine Art von Metall im Leiterkreise zu verwenden und ferner die ganze Leitung so gut als möglich zu isolieren, was bei der Benutzung hochempfindlicher Galvanometer ein Haupterfordernis ist. Alle Schaltapparate und die Leitung wurden daher ganz aus Kupfer hergestellt und auf Hartgummi gesetzt.

Folgende Schaltapparate sind im Schaltkasten untergebracht:

1. ein Stromwender, der zugleich Ein- und Ausschalter ist;
2. ein Umschalter, der eine Verbindung des eigentlichen Thermokreises als auch des Eichungskreises mit dem Galvanometer gestattet;

3. ein Einschalter, welcher erlaubt, entweder keine weiteren Widerstände oder solche, und zwar einen kleineren und einen grösseren, in den Stromkreis einzuführen.

Statt einer langatmigen Beschreibung der Apparate sei auf die Abbildungen verwiesen: Fig. 2 Taf. I stellt die Apparate in Aufsicht und Durchschnitt dar. Links ist der Umschalter angeordnet; wird er nach links umgelegt, so ist der Thermokreis mit dem Galvanometer verbunden; wird er nach rechts umgelegt, so ist die Verbindung des Galvanometers mit dem Eichungskreis hergestellt. In der Mitte befindet sich der Stromwender, zugleich Ein- und Umschalter. Bleibt der rechte Apparat in der Stellung, wie die Zeichnung es angibt, dann ist kein weiterer Widerstand in den Thermokreis eingeführt; wird der Hebel nach links umgelegt, dann sind 105 Ohm, wird er nach rechts umgelegt, dann sind 230 Ohm eingeschaltet; letztere Widerstände sind aus dünnem Kupferdraht hergestellt.

Die Schaltapparate, welche, wie erwähnt, vollkommen aus Kupfer angefertigt und auf Hartgummi montiert sind, liegen in einem Kasten aus Nussbaumholz wärmesicher verpackt; aus dem Kasten ragen drei Hartgummigriffe zur Bedienung der Apparate heraus (Fig. 3 Taf. II).

Die Leitung zwischen Kammer-Schaltkasten beziehungsweise Eichungskreis-Schaltkasten und Galvanometer besteht aus 1,8 mm dickem, sehr sorgfältig und ausgiebig isoliertem Kupferdrahte, wie er für Hochspannungsleitung benutzt wird. Die Isolationshülle ist möglichst dick gewählt, um den Draht auch thermisch zu isolieren. Die ganze Leitung, welche auf einem Lattengerüste zum Galvanometer führt, ruht auf Hartgummiklötzen.

e) Das Galvanometer.

Bei den früher mitgeteilten Versuchen wurde zur Messung der Thermoströme ein Du Bois-Rubens'sches Spiegelgalvanometer mit mittelfeinem Magnetsystem benutzt. Betrug die Schwingungsdauer dieses Systems für die volle Schwingung (◡◠) 12 Sekunden und der Skalenabstand 2,50 m vom Spiegel, dann entsprach 1 Millimeterskalenteil Ausschlag einem Strome von $3{,}8 \cdot 10^{-9}$ Ampère.

Mit diesem Galvanometer hätte die Muskelwärme, wenn nur eine Lötstelle in Anwendung kommen sollte, nur unvollkommen ermittelt werden können. Durch die Güte von Herrn Prof. Paschen-Tübingen kam ich aber in den Besitz eines seiner hoch-

empfindlichen Galvanometer[1]), das bei Verwendung des mittelschweren Magnetsystems und bei einer Schwingungsdauer desselben von nur 7 Sekunden unter sonst gleichen Versuchsbedingungen etwa 22 mal grössere Ausschläge gibt als das Du Bois-Rubens-sche Galvanometer. Dem Paschen'schen Galvanometer verdanke ich die vielfältigen Variationen, welche bei meiner Versuchsanordnung möglich sind.

Bei diesem Galvanometer, das sich in seiner Form an das Thomson'sche anlehnt, ist das Prinzip, die Direktionskraft des Systems zu verkleinern, das magnetische Moment jedes der Magnetkomplexe recht gross und zugleich das Gesamtträgheitsmoment recht klein zu machen, bis zur äussersten Grenze durchgeführt. Als Material für die ausserordentlich feinen und, was besonders wichtig ist, kurzen Magnetchen dienten Spiralfedern, wie sie die Unruhe in der Taschenuhr bewegen. Die Magnetchen sind in astatischer Anordnung in zwei Gruppen mit möglichst wenig Schellack auf einen dünnen Glasfaden geklebt. Der zwischen den beiden Magnetkomplexen auf dem Glasfaden befestigte Spiegel besteht aus einem versilberten und lackierten Deckglassplitter. Das ganze System, welches nur wenige Milligramme schwer ist, hängt an einem äusserst dünnen Quarzfaden. Die vier Spulen sind nach dem günstigsten Achsenschnitt konstruiert und mit Draht von variablem Durchmesser versehen. Der Widerstand im Galvanometer beträgt bei Hintereinanderschaltung der Spulen mit kleinem Widerstande nur 10,47 Ohm.

Trotz der ausserordentlichen Feinheit des magnetischen Systems ist dieses aber doch so stabil, dass man das Galvanometer mit eingehängtem Systeme von einem Platze zum anderen tragen kann, ohne eine Beschädigung des Systemes befürchten zu müssen.

Das Galvanometer, welches auf eine Hartgummiplatte montiert ist, steht auf einem Wandkonsol und ist dort in einen wattierten Kasten eingebaut. Alle Klemmen des Galvanometers sind, um sie vor Berührung mit der Watte zu schützen, mit Isolierband umhüllt, weil Watte, wenn sie die Klemmen verbindet, noch Ströme passieren lässt, welche für hochempfindliche Galvanometer nachweisbar sind.

1) F. Paschen, Astatisches Thomson'sches Spiegelgalvanometer von hoher Empfindlichkeit. Zeitschr. f. Instrumentenkunde 13. Jahrg. S. 13. 1893. Derselbe, Bolometrische Untersuchungen im Gitterspektrum. Annalen der Physik u. Chemie Bd. 284 S. 279. 1893.

Die vom Spiegel des magnetischen Systems 2475 mm entfernte Galvanometerskala ist elektrisch beleuchtet.

Astasiert wird mit Hilfe zweier Magnete, von welchen der eine durch eine Mikrometerschraube um eine vertikale Achse in der Horizontalebene gedreht werden kann. Es ist leicht, so zu astasieren, dass die Schwingung aperiodisch erfolgt, doch ist allzu grosse Empfindlichkeit nicht erwünscht; deshalb ist gewöhnlich nur auf sieben Sekunden Schwingungsdauer (~) astasiert, wobei die Einstellung noch nicht aperiodisch erfolgt. Das Dämpfungsverhältnis beträgt dann im Mittel $k = 2{,}6$, das Brigg'sche logarithmische Dekrement $\lambda = 0{,}41$, das natürliche 0,94. Die Ausschläge sind nach beiden Seiten gleich gross; die Proportionalität der Ausschläge ist nahezu vollkommen.

Es ist die Einrichtung getroffen, dass jederzeit die Empfindlichkeit des Galvanometers bestimmt werden kann. Zu dem Zwecke wird das Galvanometer vom Schaltkasten aus mit dem Eichungskreise verbunden; in diesem geht der Strom eines halbentladenen Akkumulators, dessen Spannung durch ein Milliamperemeter kontrolliert wird, durch 10000 Ohm hindurch. An den Enden eines Ohmes wird abgeleitet und dieser Zweigstrom nochmals durch 10000 Ohm und das Galvanometer ($W = 10{,}47$ Ohm) geschickt; dann gibt dieses einen mittleren Ausschlag von 220 Millimeterskalenteilen. Dieser Ausschlag ist etwas abhängig von der Temperatur, da die verwendeten Widerstandskästen (Messing-Konstantan) Thermoströme liefern. Deshalb wird bei jeder Empfindlichkeitsbestimmung die Temperatur angegeben.

Ein Milimeterskalenteil entspricht demnach einem Strome von $9 \cdot 10^{-11}$ Ampère. Die Normalempfindlichkeit beträgt unter diesen Umständen $2{,}9 \cdot 10^{8}$. Die Stromempfindlichkeit kann noch wesentlich weiter getrieben werden, so dass Ströme von 10^{-13} Ampère nachweisbar sind; damit übertrifft das Paschen'sche Galvanometer alle bisherigen Galvanometer; es wird neuerdings auch mit einem Eisenpanzer versehen, um es gegen elektrische und magnetische Störungen zu schützen. Von dem Paschen'schen Galvanometer gilt insbesondere, was O. Frank[1]) von einem Galvanometer für myothermische Zwecke verlangt: „Dasjenige Galvanometer ist das beste für die Zwecke

1) a. a. O. S. 383.

der Temperaturbestimmung im Muskel, das bei sonst gleicher Empfindlichkeit die geringste Schwingungsdauer besitzt."

f) Der Reizapparat.

Der Reizapparat, ein Schlitteninduktionsapparat, ist im Prinzip derselbe geblieben, wie er schon früher beschrieben worden ist[1]), nur wurde er ganz auf Hartgummi montiert; die sekundäre Spule ist auf einer in Millimeter geteilten Messingschiene verschiebbar und kann, auf der Messingschiene festgestellt, mit Hilfe einer feinen Mikrometerschraube der primären Spule um Bruchteile eines Millimeters genähert oder von ihr entfernt werden. Die Spule kann ferner noch um eine vertikale Achse gedreht werden. Der Induktionsapparat wird von demselben Akkumulator betrieben, welcher auch den Eichungsstrom für das Galvanometer liefert; eine Wippe ohne Kreuz leitet den Strom in die betreffenden Stromkreise.

g) Die Temperaturempfindlichkeit der Anordnung.

Bei der früheren Versuchsanordnung entsprach 1 mm-Skalenteil Ausschlag einer Temperaturdifferenz der Lötstellen von 0,000013° C. Die elektromotorische Kraft des Konstantan-Eisenelementes für 1° C. Temperaturdifferenz wurde zu 50,3 Mikrovolt bestimmt. Kommt die den Muskel umfassende Thermosäule mit 20 Konstantan-Eisenelementen und einem inneren Widerstande von 6,90 Ohm zur Verwendung, so liefert diese Säule bei 1° C. Temperaturdifferenz, da der Widerstand im Galvanometer und in der Leitung 10,50 Ohm beträgt, einen Strom von

$$\frac{20 \cdot 50{,}3 \cdot 10^{-6}}{17{,}40} \text{ Ampère.}$$

1 mm-Skalenteil Ausschlag entspricht einem Strome von $9 \cdot 10^{-11}$ Ampère, dieser daher einer Temperaturdifferenz von 0,0000016° C. Es lassen sich demnach Millionteiteile eines Celsiusgrades bestimmen. Damit ist eine Temperaturempfindlichkeit erreicht, wie sie bisher bei myothermischen Versuchen noch nicht zur Verwendung kam.

Diese hohe Temperaturempfindlichkeit bringt es mit sich, dass der Wärmeausschlag bei einer einzigen Zuckung eines

---

1) Pflüger's Arch. Bd. 80 S. 567. 1900.

nur mit 5 g belasteten Froschgastrocnemius, wenn die den Muskel umfassende Thermosäule oder die Gittersäule mit je 20 Lötstellen benutzt wird, 600 bis 700 mm-Skalenteile beträgt. In einem speziellen Falle wurden hintereinander die Ausschläge

660	mm-Skalenteile
665	„
653	„
657	„

beobachtet.

Im allgemeinen ist aber ein ruhiges Arbeiten mit den mehrgliedrigen Thermosäulen ohne Einschaltung eines Zusatzwiderstandes in den Thermokreis nicht möglich. Daher wird für die gewöhnlichen Versuche der im Schaltkasten befindliche Widerstand von 230 Ohm in den Thermokreis eingeführt; dann beträgt der Ausschlag bei mittlerer Belastung immer noch ca. 80 Skalenteile bei einer einzigen Zuckung. Durch diesen Zusatzwiderstand werden zugleich alle die kleinen Thermoströme vernichtet, welche in heterogenen Teilen der Leitung so leicht entstehen und den Beobachter infolge der von ihnen veranlassten beständigen Wanderung des Magnetsystems zur Verzweiflung bringen können.

Ist eine etwas grössere Empfindlichkeit erwünscht, so wird statt des Zusatzwiderstandes von 230 Ohm derjenige von 105 Ohm eingeschaltet; dann ist der Ausschlag etwa doppelt so gross und beträgt bei mittlerer Belastung ca. 160 mm-Skalenteile pro Zuckung. Fast ohne Störung kann dabei der myothermische Versuch vor sich gehen, obwohl der Beobachter direkt neben der Muskelkammer sitzt und die beleuchtete Skala sich nur etwa 1 m von der Kammer entfernt befindet.

Soll die Muskelwärme nur durch ein einziges Thermoelement ermittelt werden, dann wird der Zusatzwiderstand wieder aus dem Thermokreise herausgenommen; der Wärmeausschlag beträgt dann bei einer einzigen Zuckung und bei mittlerer Belastung ca. 40—50 mm-Skalenteile.

Handelt es sich um absolute Temperaturbestimmung, so hat eine entsprechende Eichung der Thermoelemente, und zwar mit Wärmestössen entsprechend den Verhältnissen bei der Muskelzuckung und bei möglichst kleiner Schwingungsdauer des Magnetsystems, voran-

zugehen. Es wird sich später Gelegenheit bieten, darauf zurückzukommen.

Wie richtig die Erwägungen sind, welche O. Frank in bezug auf absolute Temperaturbestimmung bei myothermischen Versuchen angestellt hat (a. a. O. S. 376) geht aus einem Versuche hervor, der durch die Güte von Herrn Kollegen S. Garten in Leipzig angestellt werden konnte. Mit Hilfe seiner vorzüglichen kapillarelektrometrischen Methode wurde die zeitliche Entwicklung und der weitere Verlauf des Thermostromes zu ermitteln versucht, welchen die Gittersäule liefert, wenn die eine Gruppe der Lötstellen plötzlich in erwärmtes Wasser getaucht wird. Das Eintauchen geschah mit Hilfe des Ankers eines Elektromagneten, an welchem die Gittersäule befestigt war. Sowie die Gittersäule das Wasser berührte, wurde der Stromkreis geschlossen und der Thermostrom dem Kapillarelektrometer zugeführt. Die so erhaltene Kurve stellt die Fig. 4 Taf. II dar. Nahezu momentan steigt der Thermostrom an, erreicht nach etwa $^1/_5$ Sekunde sein Maximum, um schon nach weiteren $^3/_5$ Sekunden, wenn auch langsam, abzusinken.

Diesem Stromstoss vermag aber ein Galvanometer, dessen magnetisches System auf mehrere Sekunden Schwingungsdauer astasiert ist, nicht zu folgen. Man wird also die Schwingungsdauer herabzusetzen oder eine entsprechende Korrektur anzubringen haben.

Bei dem myothermischen Versuche selbst liegen freilich die Verhältnisse viel günstiger, denn da die Grösse des Wärmeflusses nach den antagonistischen Lötstellen hin der Temperaturdifferenz der beiden Gruppen von Lötstellen proportional ist, so wird, da diese Differenz beim myothermischen Versuch nur klein ist, der Temperaturausgleich nicht so rasch zustande kommen, der Strom also viel langsamer absinken. Daher kann man wohl beim gewöhnlichen myothermischen Versuche, bei welchem es sich nur um relative Bestimmungen handelt, die gebildeten Wärmemengen proportional den Ausschlägen im Galvanometer setzen; für absolute Bestimmugen ist dies nur mit Einschränkung zulässig.

h) Schema eines myothermischen Versuches.

Der myothermische Versuch beginnt mit der Herrichtung der Thermosäulen, indem die antagonistischen Lötstellen mit einem angefeuchteten Filtrierpapierstreifen bedeckt werden. Dann wird das

betreffende Präparat angefertigt, in die Muskelkammer eingehängt, ihm die Thermosäule bezw. Lötstelle appliziert und mit feinem Kupferdraht die Verbindung mit den Kupferklemmen der Kammer hergestellt. Der Nerv des Präparates wird über unpolarisierbare Elektroden gebrückt. Über die ganze Anordnung wird nunmehr der Glassturz mit doppelten Wänden, zwischen denen sich Wasser befindet, gestülpt. Der innere Fliesspapierbelag saugt aus der Rinne, in welche der Glassturz zu stehen kommt, das dorthin gebrachte Wasser.

Die Muskelkammer samt Inhalt wird einige Zeit sich selbst überlassen, in welcher der Temperaturausgleich sich vollziehen soll. Unterdessen wird die Zimmertemperatur und der Barometerstand abgelesen, der Akkumulator auf seine normale Spannung untersucht und die Empfindlichkeit des Galvanometers in der geschilderten Weise geprüft. Darauf wird der Akkumulator mit dem Induktionsapparate verbunden und zugesehen, ob letzterer sich in der Stellung befindet, welche eine Einwirkung auf das entfernte Galvanometer ausschliesst.

Unterdessen hat sich oft schon der Temperaturausgleich vollzogen, so dass man die Thermosäule durch den grösseren Zusatzwiderstand hindurch mit dem Galvanometer verbinden und den Versuch beginnen kann. Sollte die Skala noch wandern oder überhaupt noch nicht im Gesichtsfelde erscheinen, so muss man eben noch einige Zeit warten; sie wird dann sicher zurückkehren. Unterlässt man es, die antagonistischen Lötstellen mit feuchtem Filtrierpapier zu bedecken, so kehrt die Skala überhaupt nicht zurück, d. h. es besteht ein thermoelektrischer Bestandstrom, weil der Muskel und die ihm anliegenden Lötstellen stets kälter sind als die Umgebung und die unbedeckten antagonistischen Lötstellen.

Unmittelbar vor und nach dem eigentlichen myothermischen Versuche wird mit Hilfe eines im Kammerraum befindlichen Thermometers die dort herrschende Temperatur abgelesen.

Es empfiehlt sich, um verschiedene Versuchsreihen miteinander vergleichen zu können, immer zu Beginn eines Versuches den Wärmeausschlag anzugeben, welchen der bei dem Versuch verwendete Muskel bei maximaler Reizung und 25 g Spannung ergibt.

Nach Beendigung des Versuches wird der Muskel gewogen, wiederum die Empfindlichkeit des Galvanometers bestimmt, der Barometerstand und die Zimmertemperatur abgelesen.

Die Thermosäule resp. das einfache Thermoelement wird sorgfältig gereinigt und, mit einer dünnen Ölschicht überzogen, in einen Exsikkator gebracht.

3. Vorversuche.

a) Die negative Wärmeschwankung.

Es wurde früher schon[1]) darauf hingewiesen, dass die negative Wärmeschwankung als das Resultat einer fehlerhaften Anordnung der Thermosäule in bezug auf den Muskel anzusehen ist. Die seitdem gewonnenen vielfältigen Erfahrungen haben diese Ansicht in jeder Beziehung bestätigt: mit jeder Verbesserung der Methoden ist die negative Wärmeschwankung immer mehr verschwunden. Ohne den geringsten Vorschlag beginnt der Wärmeausschlag, gleichgültig, ob die den Muskel umfassende Thermosäule oder die Gittersäule oder das einfache Thermoelement benutzt wird.

Man hat früher, auf ungenügender Methodik fussend, grosse Theorien auf diese Erscheinung gegründet, aber schon R. Heidenhain hat mit sicherem Blicke die wahre Natur dieser Erscheinung erkannt, und es ist nach Klärung der Verhältnisse Pflicht, darauf hinzuweisen.

R. Heidenhain[2]) schreibt: „Für mich besteht somit kein Zweifel mehr über die wahre Natur der ‚negativen Schwankung'. Mir kam die Erscheinung von vornherein so verdächtig vor, dass ich Herrn Solger vor Täuschungen, wie sie sich nunmehr wirklich herausgestellt haben, warnte und, als derselbe dennoch seine Beobachtung veröffentlichte, in einer Anmerkung zu seiner Arbeit meine Zweifel äusserte. Ich selbst habe eine Zeitlang mit jener Irrtumsquelle gekämpft, bis eine neue Verbesserung meiner Apparate sie beseitigte."

M. Blix[3]) ist zu demselben Resultate gelangt.

Damit dürfte dieses Gespenst, die negative Wärmeschwankung, welches so lange auf myothermischem Gebiete gespukt hat, endgültig beseitigt sein. Als ein Wink für die Zukunft ergibt sich daraus, wie vorsichtig man mit der Deutung myothermischer Beobachtungen sein muss, insbesondere, wenn sie sich auf ungenügende Methodik stützen.

---

1) Pflüger's Arch. Bd. 81 S. 413. 1900.

2) R. Heidenhain, Mechanische Leistung, Wärmeentwicklung und Stoffumsatz bei der Muskeltätigkeit S. 127. Verlag von Breitkopf & Härtel. 1864.

3) a. a. O. S. 119.

b) Einige Versuche zur Methodik.

Für viele myothermischen Versuche, insbesondere für vergleichende, ist es von Bedeutung, zu wissen, mit welcher Genauigkeit sich die Wärmebildung im Muskel unter verschiedenen Versuchsumständen bestimmen lässt. Es kann sich z. B. die Frage erheben: Wie wird die Messung ausfallen, wenn die Säule abgenommen und wieder aufgesetzt wird? Ferner: Entwickelt der rechte und linke Muskel unter sonst gleichen Verhältnissen gleiche Wärmemengen? Weiterhin: Welche Angaben machen die verschiedenen Thermosäulen, wenn sie demselben oder verschiedenen Muskeln der gleichen Art aufgesetzt werden? Es sind das meist sehr wenig amüsante Untersuchungen, allein sie müssen eben angestellt werden, um ein sicheres Urteil über die Genauigkeit der Methode zu gewinnen.

Verschiedene Anordnung derselben umfassenden Thermosäule auf denselben Muskel. Vergleich zwischen linkem und rechtem Gastrocnemius.

Versuch vom 21. März 1905.

Nach jeder Applikation der Säule wird der Muskel in Zeitabständen von einer Minute durch den absteigenden Öffnungsinduktionsstrom (↓ Ö), R.-A. 200 mm, vom Nerven aus maximal gereizt. Unpolarisierbare Elektroden. Belastung 25 g. Zimmertemperatur 8,9° C. Barometerstand, auf 0° reduziert, 731,2 mm Hg. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Galvanometerempfindlichkeit 214 mm-Skalenteile. Thermosäule a; im Thermokreise 230 Ohm Zus.-W.

Linker Gastrocnemius.

1. Anordnung. Kammertemperatur 10,0° C.

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
10 18	0,28	7,0	85
10 19	0,28	7,0	85
10 20	0,28	7,0	85
10 21	0,29	7,3	86
10 22	0,28	7,0	85

2. Anordnung, d. h. die Thermosäule wurde wieder abgenommen und neu aufgesetzt. Kammertemperatur 10,3° C.

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
10 40	0,28	7,0	78
10 41	0,28	7,0	78
10 42	0,28	7,0	75
10 43	0,28	7,0	78
10 44	0,28	7,0	77

3. Anordnung. Kammertemperatur 10,2° C.

Zeit h '	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
10 58	0,28	7,0	80
10 59	0,28	7,0	81
11 —	0,28	7,0	81
11 1	0,28	7,0	81
11 2	0,28	7,0	78

Rechter Gastrocnemius.

1. Anordnung. Kammertemperatur 10,5° C.

Zeit h '	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
11 26	0,28	7,0	80
11 27	0,28	7,0	80
11 28	0,27	6,8	80
11 29	0,27	6,8	80
11 30	0,28	7,0	81

2. Anordnung. Kammertemperatur 10,7° C.

Zeit h '	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
11 42	0,28	7,0	80
11 43	0,27	6,8	75
11 44	0,28	7,0	78
11 45	0,27	6,8	77
11 46	0,27	6,8	76

3. Anordnung. Kammertemperatur 11,0° C.

Zeit h '	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
11 54	0,28	7,0	80
11 55	0,28	7,0	77
11 56	0,28	7,0	80
11 57	0,28	7,0	78
11 58	0,28	7,0	80

Kammertemperatur 10,9° C. Galvanometerempfindlichkeit 222 mm-Skalenteile. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Zimmertemperatur 10,3° C. Barometerstand 730,7 mm Hg. Gewicht des linken Muskels 0,97 g. Gewicht des rechten Muskels 1,01 g.

Der Versuch ergibt, dass trotz der verschiedenen Manipulationen, welche bei der Umordnung nötig sind, die Resultate, abgesehen vom 1. Versuch, ziemlich gleich ausfallen. Auch der linke und rechte Gastro-

cnemius unterscheiden sich nicht wesentlich voneinander. Dass zu den allerersten Zuckungen oft etwas grössere Wärmemengen freigemacht werden als zu den folgenden, lässt sich häufig beobachten.

Man wird daher zweckmässig bei vergleichenden Versuchen die ersten Zuckungen unbeachtet lassen.

Verschiedene Anordnungen derselben Gittersäule auf dieselben Muskeln.

Versuch vom 31. März 1905.

Nach jeder Anordnung der Säule werden die Muskeln in Abständen von einer Minute durch den ↓Ö-Induktionsstrom (R.-A. 200 mm) vom Nerven aus maximal gereizt. Unpolarisierbare Elektroden. Belastung 50 g. Zimmertemperatur 10,9° C. Barometerstand 730,2 mm Hg. Akkumulator bei 200 Ohm $10,0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Galvanometerempfindlichkeit 228 mm-Skalenteile. Gittersäule; im Thermokreis 230 Ohm Zus.-W.

Linker und rechter Gastrocnemius.

1. Anordnung. Kammertemperatur 11,1° C.

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
3 46	0,24	12,0	57
3 47	0,24	12,0	57
3 48	0,24	12,0	55
3 49	0,24	12,0	56
3 50	0,24	12,0	55

2. Anordnung. Kammertemperatur 11,0° C.

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
4 18	0,24	12,0	57
4 19	0,24	12,0	56
4 20	0,24	12,0	57
4 21	0,24	12,0	56
4 22	0,24	12,0	56

3. Anordnung. Kammertemperatur 11,9° C.

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
4 56	0,23	11,5	55
4 57	0,23	11,5	54
4 58	0,23	11,5	55
4 59	0,23	11,5	55
5 —	0,24	12,0	54

Galvanometerempfindlichkeit 228 mm-Skalenteile. Akkumulator bei 200 Ohm 10,0 · 10^{-3} Amp. Zimmertemperatur 11,1° C. Barometerstand 730,6. Gewicht der Muskeln 1,69 g.

Auch bei verschiedener Anordnung der Gittersäule fallen die Resultate nicht wesentlich verschieden aus.

Die folgenden Versuche wurden mit zwei Thermosäulen von gleich viel Thermoelementen angestellt, von welchen aber die eine *a* aus dünnen Drähten von 0,15 mm Durchmesser mit sehr feinen Lötstellen, die andere *b* aus dickeren Drähten (0,3 mm) mit gröberen Lötstellen hergestellt ist.

Vergleich der umfassenden Thermosäule *a* mit der umfassenden Thermosäule *b* bei Benutzung desselben Muskels.

Versuche vom 23. März 1905.

Nach jeder Anordnung der betreffenden Thermosäule wird der Muskel in Zeitabständen von einer Minute durch ↓ Ö-Induktionsstrom (R.-A. 200 mm) vom Nerven aus maximal gereizt. Unpolarisierbare Elektroden. Belastung 25 g.

1. Versuch.

Zimmertemperatur 9,5° C. Luftdruck 729,5. Akkumulator bei 200 Ohm 10,0 · 10^{-3} Amp. Galvanometerempfindlichkeit 219 mm-Skalenteile. Im Thermokreise 230 Ohm Zus.-W.

Linker Gastrocnemius.

Umfassende Thermosäule *a* (Lötstellen fein). Kammertemperatur 10,1° C.

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
10 54	0,23	5,8	80
10 55	0,23	5,8	79
10 56	0,23	5,8	78
10 57	0,23	5,8	81
10 58	0,23	5,8	80

Thermosäule *b* (Lötstellen weniger fein). Kammertemperatur 11,0° C.

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
11 27	0,25	6,3	76
11 28	0,25	6,3	75
11 29	0,25	6,3	71
11 30	0,25	6,3	74
11 31	0,25	6,3	74

Thermosäule *a* (Lötstellen fein). Kammertemperatur 10,9° C.

Zeit h '	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
11 47	0,25	6,3	81
11 48	0,25	6,3	79
11 49	0,25	6,3	80
11 50	0,25	6,3	80
11 51	0,25	6,3	82

Thermosäule *b* (Lötstellen weniger fein). Kammertemperatur 11,1° C.

Zeit h '	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
12 5	0,25	6,3	72
12 6	0,25	6,3	70
12 7	0,25	6,3	70
12 8	0,25	6,3	72
12 9	0,25	6,3	72

Galvanometerempfindlichkeit 227 mm-Skalenteile. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Zimmertemperatur 10,7° C. Luftdruck 728,8 mm Hg. Gewicht des Muskels 0,92 g.

2. Versuch.

Zimmertemperatur 10,6° C. Luftdruck 728,6 mm Hg. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp., Galvanometerempfindlichkeit 226 mm-Skalenteile, Belastung 25 g. Im Thermokreis 230 Ohm Zus.-W.

Linker Gastrocnemius.

Thermosäule *b* (Lötstellen weniger fein). Kammertemperatur 11,0° C.

Zeit h '	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
4 11	0,32	8,0	75
4 12	0,32	8,0	76
4 13	0,33	8,3	77
4 14	0,33	8,3	75
4 15	0,33	8,3	76

Thermosäule *a* (Lötstellen fein). Kammertemperatur 11,5° C.

Zeit h '	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
4 35	0,32	8,0	87
4 36	0,33	8,3	87
4 37	0,33	8,3	87
4 38	0,33	8,3	85
4 39	0,33	8,3	85

Thermosäule *b* (Lötstellen weniger fein). Kammertemperatur 11,6° C.

Zeit h '	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
5 3	0,31	7,8	72
5 4	0,32	8,0	72
5 5	0,32	8,0	72
5 6	0,32	8,0	71
5 7	0,32	8,0	72

Thermosäule *a* (Lötstellen fein). Kammertemperatur 12,0° C.

Zeit h '	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
5 30	0,31	7,8	73
5 31	0,32	8,0	75
5 32	0,31	7,8	74
5 33	0,31	7,8	74
5 34	0,31	7,8	74

Galvanometerempfindlichkeit 223 mm-Skalenteile. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Zimmertemperatur 10,6° C. Luftdruck 728,6 mm Hg. Gewicht des Muskels: ?

Es gibt also durchweg die Thermosäule mit den weniger feinen Lötstellen kleinere Werte an als die Thermosäule mit den feinen Lötstellen, obwohl sonst beide Säulen gleich gebaut sind. A. Fick[1]) hat für seine Säulen angegeben, dass, wenn die Lötstellen zehnmal mehr Masse haben, die Ausschläge im Galvanometer bei Verwendung desselben Muskelpräparates doch nur um $^1/_6$ kleiner sind; ich finde, dass, wenn die Massen etwa doppelt so gross sein, die Ausschläge bis zu $^1/_8$ kleiner werden.

Vergleich der umfassenden Thermosäule *a* mit der Gittersäule bei Benutzung derselben Muskeln.

Versuch vom 18. März 1905.

Anordnung der umfassenden Thermosäule *a* auf den linken, dann auf den rechten Gastrocnemius. Anordnung der Gittersäule zwischen beide Gastrocnemii. In Zeitabständen von einer Minute werden die Muskeln durch ↓ Ö.-Induktionsstrom vom Nerven aus maximal gereizt. Unpolarisierbare Elektroden. Zimmertemperatur 9,5° C. Luftdruck 728,6 mm Hg. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Galvanometerempfindlichkeit 216 mm-Skalenteile. Kammertemperatur 10,5° C. Im Thermokreise 230 Ohm Zus.-W.

---

1) a. a. O. S. 109.

Linker Gastrocnemius.

Umfassende Thermosäule *a*. Belastung 25 g.

Zeit h '	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
10 33	0,30	7,5	86
10 34	0,30	7,5	85
10 35	0,30	7,5	84
10 36	0,30	7,5	84
10 37	0,30	7,5	85

Rechter Gastrocnemius.

Umfassende Thermosäule *a*. Belastung 25 g.

Zeit h '	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
10 55	0,31	7,8	86
10 56	0,29	7,3	79
10 57	0,29	7,3	78
10 58	0.30	7,5	82
10 59	0,30	7,5	77

Beide Gastrocnemii.

Gittersäule. Belastung 45 g.

Zeit h '	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
11 50	0,29	13,0	83
11 51	0,30	13,5	85
11 52	0,30	13,5	83
11 53	0,30	13,5	84
11 54	0,30	13,5	83

Kammertemperatur 11,5° C. Galvanometerempfindlichkeit 226 mm-Skalenteile. Akkumulator bei 200 Ohm $10,0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Zimmertemperatur 11,0° C. Luftdruck 727,1 mm Hg. Gewicht des linken Muskels 0,95 g. Gewicht des rechten Muskels 0,98 g.

Es stimmen also die Angaben der Thermosäule *a* und der Gittersäule ziemlich überein, wenn das Doppel-Gastrocnemiuspräparat etwa mit dem doppelten Gewichte belastet wird.

Vergleich der Wärmebildung des linken Gastrocnemius mit derjenigen des rechten bei verschiedener Belastung.

Versuch vom 5. April 1905.

Zuerst wird der linke, dann der rechte Gastrocnemius geprüft. Maximale Reizung durch ✢ Ö.-Induktionsstrom (R.-A. 200 mm). Unpolarisierbare Elektroden.

Zimmertemperatur 11,8° C. Luftdruck 725,8 mm Hg. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Galvanometerempfindlichkeit 230 mm-Skalenteile. Thermosäule *a*. Im Thermokreise 230 Ohm Zus.-W.

Linker Gastrocnemius.

Kammertemperatur 12,3° C.

Zeit h ′	Belastung in g	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.
3 29		0,21	1,1	44
3 31	5	0,21	1,1	43
3 32		0,21	1,1	43
3 34		0,25	4,8	66
3 35	19	0,26	4,8	67
3 36		0,26	4,9	66
3 38		0,24	9,8	88
3 39	41	0,24	9,8	86
3 40		0,24	9,8	88
3 42		0,22	17,2	95
3 43	78	0,22	17,2	93
3 44		0,23	17,9	95
3 46		0,20	25	102
3 47	126	0,20	25	101
3 48		0,20	25	101
3 50		0,17	33	110
3 51	196	0,17	33	107
3 52		0,17	33	105
3 54		0,20	25	?
3 55	126	0,20	25	97
3 56		0,20	25	97
3 58		0,23	17,9	92
3 59	78	0,22	17,2	92
4 —		0,22	17,2	92
4 2		0,25	10,3	86
4 3	41	0,25	10,3	86
4 4		0,25	10,3	85
4 6		0,27	5,1	67
4 7	19	0,27	5,1	65
4 8		0,27	5,1	65
4 10		0,25	1,3	43
4 11	5	0,25	1,3	42
4 12		0,25	1,3	40

Rechter Gastrocnemius.

Kammertemperatur 12,9° C.

Zeit h ′	Belastung in g	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.
4 57		0,24	1,2	46
4 58	5	0,24	1,2	43
4 59		0,24	1,2	41?
5 1		0,27	5,1	75
5 2	19	0,28	5,3	75
5 3		0,28	5,3	75

Zeit h '	Belastung in g	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.
5 5		0,25	10,3	97
5 6	41	0,26	10,7	94
5 7		0,26	10,7	95
5 9		0,23	17,9	100
5 10	78	0,23	17,9	99
5 11		0,23	17,9	99
5 13		0,20	25	105
5 14	126	0,20	25	104
5 15		0,21	26	102
5 17		0,18	35	111
5 18	196	0,18	35	108
5 19		0,18	35	108
5 21		0,20	25	99
5 22	126	0,18	23	97
5 23		0,20	25	96
5 25		0,23	17,9	91
5 26	78	0,24	18,7	91
5 27		0,23	17,9	90
5 29		0,25	10,3	83
5 30	41	0,25	10,3	84
5 31		0,26	10,7	85
5 33		0,27	5,1	62
5 34	19	0,28	5,3	60
5 35		0,28	5,3	62
5 37		0,26	1,3	34
5 38	5	0,25	1,3	33
5 39		0,25	1,3	33

Kammertempeıatur 12,9° C. Galvanometerempfindlichkeit 226 mm-Skalenteile. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Zimmertemperatur 12,0° C. Luftdruck 725,3 mm Hg. Gewicht des linken Gastrocnemius 0,80 g. Gewicht des rechten Gastrocnemius 0,80 g.

Im allgemeinen sind also die Wärmemengen, welche vom linken und rechten Gastrocnemius produziert werden, wenn die Belastung sukzessive geändert wird, annähernd gleich, sofern beide Muskeln bei derselben Belastung dieselbe Arbeit leisten, was aber nicht immer der Fall ist, auch wenn maximal gereizt wird.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde zu ermitteln versucht, ob dann, wenn zwei oder drei Zuckungen aufeinanderfolgen, auch die gebildeten Wärmemengen das Doppelte oder Dreifache betragen. Man hat es als einen Beweis für die Güte der Versuchsanordnung angesehen, wenn die Addition in dem entsprechenden Sinne stattfindet; im allgemeinen mag dies richtig sein, doch kommt sehr wesentlich in Betracht, dass das Reizintervall das entsprechende ist, und dies ausfindig zu machen ist nicht immer leicht. Im folgenden sei einer der Additionsversuche mitgeteilt.

Wärmeadditionsversuch bei verschiedener Belastung.

Versuch vom 7. April 1905.

Durch zwei getrennte Einzelzuckungen, von welchen die zweite nur zur Kontrolle der ersten vorgenommen wird, wird die Wärmebildung bei der betreffenden Belastung ermittelt. Dann folgen bei derselben Belastung eine doppelte und eine dreifache Zuckung, die einzelnen Zuckungen möglichst rasch hintereinander. Maximale Reizung vom Nerven aus durch ↓Ö-Induktionsstrom (R.-A. 200 mm). Unpolarisierbare Elektroden. Zimmertemperatur 7,5° C. Luftdruck 733,4° mm Hg. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Galvanometerempfindlichkeit 211 mm-Skalenteile. Thermosäule *a*. Im Thermokreise 230 Ohm Zus.-W.

Linker Gatrocnemius.

Kammertemperatur 9,5° C.

Zeit h ′	Belastung in g	Wärme in mm-Skalenteilen		
		Getrennte Zuckungen	Doppelte Zuckungen	Dreifache Zuckungen
9 35	5	33	—	—
9 36		33	—	—
9 37		—	66	—
9 39		—	—	97
9 41	19	56	—	—
9 42		56	—	—
9 43		—	107	—
9 45		—	—	162
9 47	41	83	—	—
9 48		78	—	—
9 49		—	156	—
9 51		—	—	234
9 53	78	87	—	—
9 54		90	—	—
9 55		—	177	—
9 57		—	—	257
9 59	126	99	—	—
10 1		92	—	—
10 2		—	193	—
10 4		—	—	285
10 6	196	108	—	—
10 7		93?	—	—
10 9		—	198	—
10 11		—	—	298

Die Addition ist, wenn man vom Mittelwert der Anfangszuckungen ausgeht, fast vollkommen. Es kommt aber alles darauf an, das Reizintervall richtig zu treffen; unter solchen Umständen habe ich gelegentlich noch bessere Additionen beobachtet.

4. Mechanische und thermische Leistungsfähigkeit von Muskeln aus verschiedenen Jahreszeiten.

Für viele myothermische Versuche ist es von Bedeutung, die mechanische und thermische Leistungsfähigkeit von Muskeln aus verschiedenen Jahreszeiten zu kennen. M. Blix schreibt darüber (a. a. O. S. 104): „Es ist oft hervorgehoben, dass einige Frösche, sogar ganze Jahrgänge, Muskeln haben sollten, welche nur sehr kleine Wärmemengen abgeben. — Dann tritt als die wichtigste Frage in den Vordergrund, ob es Muskeln gibt, deren Fähigkeit, Wärme frei zumachen, augenfällig abgenommen hat, ohne dass die Arbeitsfähigkeit sichtbar gelitten hat. Diese Frage ist insofern wichtig, als sie an eine prinzipielle Frage streift, wie nahe Wärme- und Arbeitsproduktion miteinander verbunden sind. Um diese Frage endgültig zu entscheiden, wären gewiss manche und lange Versuche vonnöten. Besonders darauf gerichtete Untersuchungen sind, soviel ich weiss, noch nicht gemacht worden."

Im folgenden sei eine diesbezügliche Versuchsreihe mitgeteilt. Untersucht wurden bei verschiedener Belastung sowohl die Muskeln von Fröschen, welche den Winter im Keller des Instituts zugebracht hatten, als auch diejenigen von solchen Tieren, welche in diesem Frühjahr frisch gefangen worden waren (kurz Winter- bezw. Frühjahrsmuskeln benannt). In einer weiteren Versuchsreihe sollen auch die Muskeln von Herbstfröschen geprüft werden.

a) Versuche an Wintermuskeln.

Prüfung auf Leistungsfähigkeit bei 5 g dauernder Belastung.

Versuch vom 11. März 1905.

Linker Gastrocnemius, jede Minute durch ↓ Ö-Induktionsstrom (R.-A. 200 mm) vom Nerven aus maximal gereizt. Unpolarisierbare Elektroden. Zimmertemperatur 10,4° C. Barometerstand[1]) 727,1 mm Hg. Akkumulator bei 200 Ohm 10,0·10−3 Amp. Galvanometerempfindlichkeit 232 mm-Skalenteile. Thermosäule *a*. Im Thermokreise 230 Ohm Zus.-W. Kammertemperatur 11,0° C.

---

1) Auf 0° reduziert.

Zeit h '	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.	Bemerkungen
10 37	0,28	1,40	51	
10 38	0,29	1,45	47	
10 39	0,29	1,45	48	
10 40	0,28	1,40	48	
10 41	0,29	1,45	50	
10 42	0,29	1,45	46	
10 43	0,29	1,45	46	
10 44	0,29	1,45	48	
10 45	0,29	1,45	48	
10 46	0,29	1,45	48	
10 47	0,29	1,45	47	
10 48	0,29	1,45	47	
10 49	0,29	1,45	49	
10 50	0,29	1,45	48	
10 51	0,29	1,45	47	
10 52	0,29	1,45	47	
10 53	0,29	1,45	47	
10 54	0,29	1,45	49	
10 55	0,29	1,45	46	
10 56	0,29	1,45	48	
10 57	0,29	1,45	48	
10 58	0,29	1,45	48	
10 59	0,29	1,45	46	Erschütterung
11 —	0,29	1,45	47	
11 1	?	?	47	
11 2	0,29	1,45	47	
11 3	0,29	1,45	48	
11 4	0,29	1,45	48	
11 5	0,29	1,45	47	
11 6	0,29	1,45	47	
11 7	0,29	1,45	47	
11 8	0,29	1,45	45	Erschütterung
11 9	0,28	1,40	46	
11 10	0,29	1,45	47	
11 11	0,29	1,45	46	
11 12	0,29	1,45	45	
11 13	0,29	1,45	46	
11 14	0,29	1,45	46	
11 15	0,29	1,45	43	Windstoss
11 16	0,29	1,45	44	
11 17	0,29	1,45	45	
11 18	0,29	1,45	46	
11 19	0,29	1,45	44	
11 20	0,29	1,45	43	
11 21	0,29	1,45	44	
11 22	0,28	1,40	44	
11 23	0,28	1,40	44	
11 24	0,28	1,40	41	
11 25	0,28	1,40	42	
11 26	0,28	1,40	43	
11 27	0,28	1,40	43	
11 28	0,28	1,40	43	
11 29	0,28	1,40	43	
11 30	0,28	1,40	41	
11 31	0,28	1,40	40	
11 32	0,28	1,40	41	
11 33	0,28	1,40	43	
11 34	0,28	1,40	41	
11 35	0,28	1,40	40	

Zeit h '	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm - Skalenteil.	Bemerkungen
11 36	0,28	1,40	42	
11 37	0,28	1,40	41	
11 38	0,28	1,40	43	
11 39	0,28	1,40	39	
11 40	0,28	1,40	39	
11 41	0,28	1,40	42	
11 42	0,28	1,40	42	
11 43	0,28	1,40	39	
11 44	0,28	1,40	39	
11 45	0,27	1,35	38	
11 46	0,28	1,40	38	
11 47	0,28	1,40	38	
11 48	0,27	1,35	38	
11 49	0,27	1,35	36	
11 50	0,27	1,35	37	
11 51	0,28	1,40	37	
11 52	0,27	1,35	36	
11 53	0,27	1,35	37	
11 54	0,27	1,35	37	
11 55	0,27	1,35	36	
11 56	0,27	1,35	33	
11 57	0,27	1,35	35	
11 58	0,27	1,35	36	
11 59	0,27	1,35	34	
12 —	0,27	1,35	34	
12 1	0,27	1,35	33	
12 2	0,27	1,35	34	
12 3	0,27	1,35	32	
12 4	0,27	1,35	32	
12 5	0,27	1,35	33	
12 6	0,26	1,30	33	
12 7	0,26	1,30	32	

Kammertemperatur 11,0° C. Galvanometerempfindlichkeit 235 mm-Skalenteile. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Zimmertemperatur 11,1° C. Barometerstand 727,7 mm Hg. Gewicht des Muskels 0,74 g.

Zur besseren Übersicht seien die Mittelwerte aus neun aufeinanderfolgenden Serien von je zehn Zuckungen zusammengestellt.

Mittelwerte aus neun aufeinanderfolgenden Serien von je zehn Zuckungen.

Serie	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.	Relativer Wirkungsgrad $= \frac{\text{Arbeit}}{\text{Wärme}}$
1	0,29	1,44	48	1,000
2	0,29	1,45	48	1,007
3	0,29	1,45	47	1,030
4	0,29	1,45	46	1,050
5	0,29	1,43	44	1,083
6	0,28	1,40	42	1,110
7	0,28	1,40	40	1,167
8	0,27	1,36	37	1,227
9	0,27	1,35	34	1,323

Bei 5 g dauernder Belastung hat also nach 50 Zuckungen die Arbeit um 0,7 %, die Wärme um 8 %, nach 90 Zuckungen die Arbeit um 6 %, die Wärme dagegen um 29 % des ursprünglichen Wertes abgenommen. Der Wirkungsgrad hat nach 50 Zuckungen um 8 %, nach 90 Zuckungen um 32 % zugenommen.

Der folgende Versuch wurde bei 25 g dauernder Belastung vorgenommen.

Prüfung auf Leistungsfähigkeit bei 25 g dauernder Belastung.

Versuch vom 11. März 1905.

Linker Gastrocnemius, jede Minute durch ↓ Ö.-Induktionsstrom (R.-A. 200 mm) vom Nerven aus maximal gereizt. Unpolarisierbare Elektroden. Zimmertemperatur 10,4° C. Luftdruck 724,7 mm Hg. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Galvanometerempfindlichkeit 238 mm-Skalenteile. Thermosäule b. Im Thermokreise 230 Ohm Zus.-W. Kammertemperatur 11,0° C.

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.	Bemerkungen
4 38	0,28	7,0	65	
4 39	0,27	6,8	60	
4 40	0,27	6,8	60	
4 41	0,27	6,8	61	
4 42	0,27	6,8	61	
4 43	0,27	6,8	60	
4 44	0,27	6,8	61	
4 45	0,27	6,8	60	
4 46	0,27	6,8	60	
4 47	?	?	61	
4 48	0,27	6,8	60	
4 49	0,27	6,8	60	
4 50	0,27	6,8	59	
4 51	0,26	6,5	60	
4 52	0,27	6,8	60	
4 53	0,27	6,8	61	
4 54	0,27	6,8	60	
4 55	0,27	6,8	60	
4 56	0,26	6,5	58	Erschütterung
4 57	0,27	6,8	63	
4 58	0,27	6,8	62	
4 59	0,28	7,0	63	
5 —	0,27	6,8	63	
5 1	0,27	6,8	62	
5 2	0,27	6,8	63	
5 3	0,27	6,8	62	
5 4	0,27	6,8	60	
5 5	?	?	60	
5 6	0,27	6,8	60	
5 7	0,27	6,8	61	

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.	Bemerkungen
5 8	0,26	6,5	60	
5 9	0,26	6,5	60	
5 10	0,26	6,5	58	
5 11	0,26	6,5	54	
5 12	0,26	6,5	57	
5 13	0,26	6,5	56	
5 14	0,26	6,5	54	
5 15	0,26	6,5	55	
5 16	0,26	6,5	55	
5 17	0,26	6,5	54	
5 18	0,26	6,5	54	
5 19	0,26	6,5	53	
5 20	0,26	6,5	53	
5 21	0,26	6,5	53	
5 22	0,26	6,5	51	
5 23	0,25	6,3	50	
5 24	0,25	6,3	49	
5 25	0,25	6,3	48	
5 26	0,25	6,3	50	
5 27	0,25	6,3	48	
5 28	0,25	6,3	46	
5 29	0,25	6,3	49	
5 30	0,25	6,3	45	
5 31	0,25	6,3	46	
5 32	0,25	6,3	45	
5 33	0,25	6,3	44	
5 34	0,25	6,3	44	
5 35	0,25	6,3	44	
5 36	0,24	6,0	42	
5 37	0,24	6,0	43	
5 38	0,24	6,0	42	
5 39	0,24	6,0	38	
5 40	0,24	6,0	41	
5 41	0,24	6,0	39	
5 42	0,24	6,0	40	
5 43	0,24	6,0	39	
5 44	0,24	6,0	39	
5 45	0,24	6,0	38	
5 46	0,23	5,8	38	
5 47	0,23	5,8	38	
5 48	0,23	5,8	37	
5 49	0,23	5,8	41	
5 50	0,23	5,8	37	
5 51	0,23	5,8	36	
5 52	0,23	5,8	36	
5 53	0,22	5,5	34	
5 54	0,23	5,8	34	
5 55	0,23	5,8	35	
5 56	0,23	5,8	36	
5 57	0,22	5,5	32	
5 58	0,23	5,8	34	
5 59	0,22	5,5	34	
6 —	0,22	5,5	32	
6 1	0,22	5,5	29	
6 2	0,22	5,5	32	
6 3	0,22	5,5	29	
6 4	0,22	5,5	30	
6 5	0,22	5,5	29	
6 6	0,22	5,5	28	

Kammertemperatur 11,3° C. Galvanometerempfindlichkeit 237 mm-Skalenteile. Akkumulator bei 200 Ohm 10,0·10−3 Amp. Zimmertemperatur 10,6° C. Luftdruck 724,6 mm Hg. Gewicht des Muskels 0,71 g.

Mittelwerte aus neun aufeinanderfolgenden Serien von je zehn Zuckungen.

Serie	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.	Relativer Wirkungsgrad $= \frac{\text{Arbeit}}{\text{Wärme}}$
1	0,27	6,8	61	1,00
2	0,27	6,7	60	1,00
3	0,27	6,8	62	0,98
4	0,26	6,5	56	1,04
5	0,26	6,4	51	1,13
6	0,25	6,3	45	1,26
7	0,24	6,0	39	1,38
8	0,23	5,7	36	1,42
9	0,22	5,5	31	1,59

Bei 25 g dauernder Belastung hat nach 50 Zuckungen die Arbeit um 6%, die Wärme um 16%, nach 90 Zuckungen die Arbeit um 19%, die Wärme dagegen um 49% des ursprünglichen Wertes abgenommen. Der Wirkungsgrad hat nach 50 Zuckungen um 13%, nach 90 Zuckungen um 59% zugenommen.

Bei dem folgenden Versuche war der Muskel mit 95 g belastet.

Prüfung auf Leistungsfähigkeit bei 95 g dauernder Belastung.

Versuch vom 13. März 1905.

Linker Gastrocnemius jede Minute durch ↓ O.-Induktionsstrom (R.-A. 200 mm) vom Nerven aus maximal gereizt. Unpolarisierbare Elektroden. Zimmertemperatur 11,0° C. Luftdruck 727,6 mm Hg. Akkumulator bei 200 Ohm 10,0·10−3 Amp. Galvanometerempfindlichkeit 234 mm-Skalenteile. Thermosäule *a*. Im Thermokreise 230 Ohm Zus.-W. Kammertemperatur 11,9° C.

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalent.	Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalent.
3 33	0,17	16	90	3 41	0,18	17	87
3 34	0,17	16	85	3 42	0,18	17	87
3 35	0,18	17	83	3 43	0,18	17	87
3 36	0,18	17	87	3 44	0,18	17	87
3 37	0,18	17	85?	3 45	0,18	17	89
3 38	0,17	16	89	3 46	0,18	17	89
3 39	0,18	17	88	3 47	0,18	17	91
3 40	0,18	17	88	3 48	0,18	17	90

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalent.	Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalent.
3 49	0,18	17	89	4 27	0,19	18	85
3 50	0,18	17	90	4 28	0,18	17	82
3 51	0,18	17	90	4 29	0,19	18	83
3 52	0,18	17	90	4 30	0,19	18	81
3 53	0,18	17	90	4 31	0,19	18	81
3 54	0,18	17	88	4 32	0,19	18	79
3 55	0,18	17	88	4 33	0,19	18	80
3 56	0,18	17	90	4 34	0,19	18	78
3 57	0,18	17	88	4 35	0,18	17	75
3 58	0,19	18	89	4 36	0.18	17	73
3 59	0,18	17	90	4 37	0,19	18	72
4 —	0,19	18	90	4 38	0,18	17	70
4 1	0,18	17	90	4 39	0,18	17	70
4 2	0,18	17	89	4 40	0,18	17	68
4 3	0,18	17	89	4 41	0,18	17	67
4 4	0,19	18	88	4 42	0,18	17	65
4 5	0,19	18	88	4 43	0,18	17	66
4 6	0,18	17	90	4 44	0,18	17	63
4 7	0,19	18	91	4 45	0,18	17	60
4 8	0,19	18	92	4 46	0,18	17	60
4 9	0,19	18	91	4 47	0,18	17	58
4 10	0,19	18	92	4 48	0,17	16	56
4 11	0,19	18	91	4 49	0,17	16	57
4 12	0,19	18	92	4 50	0,17	16	55
4 13	0,19	18	91	4 51	0,17	16	54
4 14	0,19	18	92	4 52	0,17	16	52
4 15	0,19	18	92	4 53	0,17	16	52
4 16	0,19	18	92	4 54	0,17	16	51
4 17	0,19	18	91	4 55	0,17	16	50
4 18	0,18	17	90	4 56	0,16	15	48
4 19	0,19	18	89	4 57	0,16	15	47
4 20	0,19	18	90	4 58	0,16	15	45
4 21	0,19	18	90	4 59	0,16	15	44
4 22	0,19	18	89	5 —	0,16	15	43
4 23	0,18	17	88	5 1	0,15	14	42
4 24	0,19	18	88	5 2	0,15	14	41
4 25	0,19	18	87	5 3	0,15	14	40
4 26	0,19	18	85				

Kammertemperatur 11,9° C. Galvanometerempfindlichkeit 233 mm-Skalenteile. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Zimmertemperatur 11,2° C. Luftdruck 727,3 mm Hg. Gewicht des Muskels 0,64 g.

(Siehe die Tabelle der Mittelwerte S. 253.)

Bei 95 g dauernder Belastung hat nach 50 Zuckungen die Arbeit um 6%, die Wärme um 5% zugenommen, nach 90 Zuckungen hat dagegen die Arbeit um 12% und die Wärme um 47% abgenommen. Der Wirkungsgrad hat nach 50 Zuckungen um 1% zugenommen, nach 90 Zuckungen um 67%.

Mittelwerte aus neun aufeinanderfolgenden Serien von je zehn Zuckungen.

Serie	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.	Relativer Wirkungsgrad $= \frac{\text{Arbeit}}{\text{Wärme}}$
1	0,18	17	87	1
2	0,18	17	89	0,98
3	0,18	17	89	0,98
4	0,19	18	90	1,02
5	0,19	18	91	1,01
6	0,19	18	84	1,10
7	0,18	17	72	1,21
8	0,18	17	58	1,50
9	0,16	15	46	1,67

Prüfung auf Leistungsfähigkeit bei 196 g dauernder Belastung.

Versuch vom 14. März 1905.

Linker Gastrocnemius jede Minute durch ↓ Ö.-Induktionsstrom (R.-A. 200 mm) vom Nerven aus maximal gereizt. Unpolarisierbare Elektroden. Zimmertemperatur 9,0° C. Luftdruck 722,9 mm Hg. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Galvanometerempfindlichkeit 221 mm-Skalenteile. Thermosäule *a*. Im Thermokreis 230 Ohm Zus.-W. Kammertemperatur 10,0 C.

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen	Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
10 2	0,19	37	122	10 26	0,19	37	120
10 3	0,19	37	122	10 27	0,20	39	119
10 4	0,19	37	122	10 28	0,19	37	114
10 5	0,19	37	122	10 29	0,19	37	107
10 6	0,19	37	122	10 30	0,19	37	100
10 7	0,19	37	123	10 31	0,19	37	95
10 8	0,19	37	121	10 32	0,18	35	89
10 9	0,19	37	123	10 33	0,18	35	83
10 10	0,20	39	123	10 34	0,18	35	75
10 11	0,19	37	122	10 35	0,18	35	69
10 12	0,19	37	121	10 36	0,17	33	69
10 13	0,19	37	122	10 37	0,15	29	46
10 14	0,20	39	125	10 38	0,13	25	31
10 15	0,19	37	120	10 39	0,12	24	15
10 16	0,19	37	121	10 40	0,11	22	13
10 17	0,19	37	121	10 41	0,10	20	8
10 18	0,19	37	120	10 42	0,10	20	11
10 19	0,19	37	120	10 43	0,09	18	10
10 20	0,19	37	120	10 44	0,08	16	7
10 21	0,19	37	122	10 45	0,07	14	7
10 22	0,20	39	123	10 46	0,07	14	9
10 23	0,19	37	121	10 47	0,06	12	10
10 24	0,19	37	120	10 48	0,05	10	14
10 25	0,19	37	122	10 49	0,05	10	11

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalent.	Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalent.
10 50	0,05	10	8	11 12	0,01	2	2
10 51	0,03	6	7	11 13	0,01	2	1
10 52	0,03	6	6	11 14	0,01	2	1
10 53	0,03	6	5	11 15	< 0,01	< 2	2
10 54	0,03	6	6	11 16	< 0,01	< 2	2
10 55	0,02	4	4	11 17	< 0,01	< 2	1
10 56	0,02	4	2	11 18	< 0,01	< 2	1
10 57	0,02	4	3	11 19	< 0,01	< 2	1
10 58	0,02	4	3	11 20	< 0,01	< 2	1
10 59	0,02	4	4	11 21	< 0,01	< 2	1
11 —	0,02	4	2	11 22	< 0,01	< 2	1
11 1	0,01	2	3	11 23	< 0,01	< 2	1
11 2	0,01	2	3	11 24	< 0,01	< 2	1
11 3	0,01	2	2	11 25	< 0,01	< 2	1
11 4	0,01	2	2	11 26	< 0,01	< 2	1
11 5	0,01	2	3	11 27	< 0,01	< 2	1
11 6	0,01	2	2	11 28	< 0,01	< 2	2
11 7	0,01	2	2	11 29	< 0,01	< 2	1
11 8	0,01	2	1	11 30	< 0,01	< 2	1
11 9	0,01	2	2	11 31	< 0,01	< 2	1
11 10	0,01	2	2	11 32	< 0,01	< 2	1
11 11	0,01	2	1				

Kammertemperatur 10,5° C. Galvanometerempfindlichkeit 237 mm-Skalenteile. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Zimmertemperatur 10,4 C. Luftdruck 723,6 mm Hg. Gewicht des Muskels 0,65 g.

Mittelwerte aus neun aufeinanderfolgenden Serien von je zehn Zuckungen.

Serie	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.	Relativer Wirkungsgrad $= \frac{\text{Arbeit}}{\text{Wärme}}$
1	0,19	37	122	1
2	0,19	37	121	1,01
3	0,19	37	114	1,07
4	0,15	29	50	1,91
5	0,07	13	9	4,76
6	0,02	4	4	3,30
7	0,01	2	2	3,30
8	< 0,01	< 2	1	—
9	< 0,01	< 2	1	—

Bei 196 g dauernder Belastung hat schon nach 50 Zuckungen die Arbeit um 64%, die Wärme um 93% abgenommen. Der Wirkungsgrad hat um 376% zugenommen.

Im folgenden seien die bisherigen Resultate zusammengestellt. Die Zu- resp. Abnahme der betreffenden Werte wird durch + resp. — angedeutet und zwar in Prozent des Anfangswertes.

Übersicht über die mechanische und thermische Leistungsfähigkeit von Wintermuskeln.

Belastung	nach 50 Zuckungen			nach 90 Zuckungen		
	Arbeit	Wärme	Wirkungsgrad	Arbeit	Wärme	Wirkungsgrad
5 g	— 0,7 %	— 8 %	+ 8 %	— 6 %	— 29 %	+ 32 %
25 g	— 6 %	— 16 %	+ 13 %	— 19 %	— 49 %	+ 59 %
95 g	+ 6 %	+ 5 %	+ 1 %	— 12 %	— 47 %	+ 67 %
196 g	— 64 %	— 93 %	+ 376 %	—	—	—

Analoge Versuche wurden an Muskeln angestellt, welche von frischgefangenen Frühjahrsfröschen stammten.

b) Versuche an Frühjahrsmuskeln. (Konstante Belastung.)

Prüfung auf Leistungsfähigkeit bei 5 g dauernder Belastung.

Versuch vom 15. März 1905.

Linker Gastrocnemius jede Minute durch ↓ Ö.-Induktionsstrom (R.-A. 200 mm) vom Nerven aus maximal gereizt. Unpolarisierbare Elektroden. Zimmertemperatur 9,3° C. Luftdruck 725,4 mm Hg. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Galvanometerempfindlichkeit 219 mm-Skalenteile. Thermosäule *a*. Im Thermokreis 230 Ohm Zus.-W. Kammertemperatur 10,5° C.

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.	Bemerkungen
10 2	0,26	1,30	64	
10 3	0,26	1,30	60	
10 4	0,26	1,30	59	
10 5	0,30	1,50	59	
10 6	0,27	1,35	59	
10 7	0,27	1,35	59	
10 8	0,27	1,35	60	
10 9	0,27	1,35	59	
10 10	0,27	1,35	59	
10 11	0,27	1,35	58	
10 12	0,27	1,35	59	
10 13	0,27	1,35	59	
10 14	0,27	1,35	59	
10 15	0,27	1,35	59	
10 16	0,27	1,35	60	
10 17	0,28	1,40	59	
10 18	0,27	1,35	60	
10 19	0,28	1,40	60	
10 20	0,27	1,35	60	
10 21	0,27	1,35	60	
10 22	0,27	1,35	60	

Zeit h '	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.	Bemerkungen
10 23	0,27	1,35	60	
10 24	0,28	1,40	61	
10 25	0,28	1,40	60	
10 26	0,28	1,40	60	
10 27	0,28	1,40	62	
10 28	0,28	1,40	62	
10 29	0,28	1,40	61	
10 30	0,28	1,40	61	
10 31	0,28	1,40	60	
10 32	0,28	1,40	62	
10 33	0,28	1,40	61	
10 34	0,28	1,40	61	
10 35	0,28	1,40	61	
10 36	0,28	1,40	61	
10 37	0,28	1,40	61	
10 38	0,28	1,40	61	
10 39	0,28	1,40	61	
10 40	0,28	1,40	60	
10 41	0,28	1,40	60	
10 42	0,28	1,40	60	
10 43	0,28	1,40	60	
10 44	0,28	1,40	61	
10 45	0,28	1,40	61	
10 46	0,28	1,40	61	
10 47	0,29	1,45	62	
10 48	0,28	1,40	60	
10 49	0,29	1,45	59	Erschütterung
10 50	0,28	1,40	61	
10 51	0,28	1,40	60	
10 52	0,28	1,40	61	
10 53	0,28	1,40	60	
10 54	0,28	1,40	60	
10 55	0,28	1,40	60	
10 56	0,28	1,40	59	
10 57	0,28	1,40	59	
10 58	0,28	1,40	59	
10 59	0,28	1,40	59	
11 —	0,28	1,40	61	
11 1	0,28	1,40	60	
11 2	0,28	1,40	59	
11 3	0,28	1,40	58	
11 4	0,28	1,40	59	
11 5	0,28	1,40	59	
11 6	0,28	1,40	58	
11 7	0,28	1,40	57	
11 8	0,28	1,40	56	
11 9	0,28	1,40	57	
11 10	0,28	1,40	57	
11 11	0,28	1,40	56	
11 12	0,28	1,40	56	
11 13	0,28	1,40	56	
11 14	0,28	1,40	55	
11 15	0,28	1,40	55	
11 16	0,28	1,40	55	
11 17	0,28	1,40	55	
11 18	0,28	1,40	54	
11 19	0,28	1,40	53	
11 20	0,28	1,40	54	

Zeit h '	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.	Bemerkungen
11 21	0,28	1,40	53	
11 22	0,28	1,40	54	
11 23	0,28	1,40	52	
11 24	0,27	1,35	53	
11 25	0,28	1,40	53	
11 26	0,28	1,40	55	
11 27	0,27	1,35	51	
11 28	0,28	1,40	50	
11 29	0,28	1,40	51	
11 30	0,27	1,35	52	
11 31	0,27	1,35	50	
11 32	0,27	1,35	50	
11 33	0,27	1,35	50	
11 34	0,27	1,35	49	
11 35	0,27	1,35	49	
11 36	0,27	1,35	48	
11 37	0,27	1,35	50	
11 38	0,28	1,40	48	
11 39	0,27	1,35	47	
11 40	0,27	1,35	47	
11 41	0,27	1,35	46	
11 42	0,27	1,35	47	
11 43	0,27	1,35	46	
11 44	0,27	1,35	45	
11 45	0,27	1,35	45	
11 46	0,27	1,35	44	
11 47	0,26	1,30	44	
11 48	0,27	1,35	44	
11 49	0,26	1,30	42	
11 50	0,26	1,30	43	
11 51	0,26	1,30	42	
11 52	0,26	1,30	44	
11 53	0,26	1,30	43	
11 54	0,27	1,35	42	
11 55	0,26	1,30	42	
11 56	0,26	1,30	41	
11 57	0,26	1,30	42	
11 58	0,25	1,25	41	
11 59	0,26	1,30	41	
12 —	0,25	1,25	41	
12 1	0,26	1,30	41	
12 2	0,26	1,30	40	

Kammertemperatur 11,0° C. Galvanometerempfindlichkeit 227 mm-Skalenteile. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Zimmertemperatur 10,7° C. Luftdruck 724,4 mm Hg.. Gewicht des Muskels 0,96 g.

Zur besseren Übersicht seien auch hier die Mittelwerte aus 12 aufeinanderfolgenden Serien von je 10 Zuckungen zusammengestellt.

Mittelwerte aus zwölf aufeinanderfolgenden Serien von je zehn Zuckungen.

Serie	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.	Relativer Wirkungsgrad $= \frac{\text{Arbeit}}{\text{Wärme}}$
1	0,27	1,35	60	1,000
2	0,27	1,36	60	1,007
3	0,28	1,39	61	1,013
4	0,28	1,40	61	1,020
5	0,28	1,41	61	1,027
6	0,28	1,40	60	1,037
7	0,28	1,40	58	1,073
8	0,28	1,40	55	1,131
9	0,28	1,38	52	1,180
10	0,27	1,36	48	1,259
11	0,27	1,33	44	1,343
12	0,26	1,30	42	1,376

Bei 5 g dauernder Belastung hat nach 50 Zuckungen die Arbeit um 4%, die Wärme um 2% zugenommen, nach 90 Zuckungen die Arbeit um 2% zugenommen, die Wärme dagegen um 13% abgenommen, nach 120 Zuckungen haben beide Werte abgenommen, die Arbeit um 4%, die Wärme um 30%.

Der Wirkungsgrad hat nach 50 Zuckungen um 3%, nach 90 Zuckungen um 18%, nach 120 Zuckungen um 38% zugenommen.

Ein analoger Versuch wurde bei 25 g dauernder Belastung angestellt.

Prüfung auf Leistungsfähigkeit bei 25 g dauernder Belastung.

Versuch vom 14. März 1905.

Linker Gastrocnemius jede Minute durch + O.-Induktionsstrom (R.-A. 200 mm) vom Nerven aus maximal gereizt. Zimmertemperatur 10,7° C. Luftdruck 724,8 mm Hg. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Galvanometerempfindlichkeit 230 mm-Skalenteile. Thermosäule *a*. Im Thermokreis 230 Ohm Zus.-W. Kammertemperatur 11,1° C.

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen	Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
3 9	0,23	5,8	51	3 12	0,23	5,8	60
3 10	0,23	5,8	53	3 13	0,23	5,8	60
3 11	0,23	5,8	53	3 14	0,23	5,8	58

Zeit h '	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen	Zeit h '	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
3 15	0,23	5,8	56	4 13	0,23	5,8	59
3 16	0,23	5,8	59	4 14	0,23	5,8	59
3 17	0,23	5,8	61	4 15	0,23	5,8	58
3 18	0,23	5,8	61	4 16	0,23	5,8	59
3 19	0,23	5,8	59	4 17	0,23	5,8	59
3 20	0,23	5,8	60	4 18	0,23	5,8	57
3 21	0,23	5,8	55	4 19	0,23	5,8	58
3 22	0,23	5,8	58	4 20	0,23	5,8	58
3 23	0,23	5,8	59	4 21	0,23	5,8	59
3 24	0,23	5,8	59	4 22	0,23	5,8	57
3 25	0,23	5,8	62	4 23	0,23	5,8	58
3 26	0,24	6,0	59	4 24	0,23	5,8	57
3 27	0,23	5,8	58	4 25	0,23	5,8	58
3 28	0,23	5,8	60	4 26	0,23	5,8	58
3 29	0,24	6,0	60	4 27	0,23	5,8	57
3 30	0,23	5,8	60	4 28	0,23	5,8	57
3 31	0,24	6,0	60	4 29	0,23	5,8	55
3 32	0,23	5,8	60	4 30	0,23	5,8	56
3 33	0,23	5,8	60	4 31	0,23	5,8	55
3 34	0,23	5,8	60	4 32	0,23	5,8	55
3 35	0,24	6,0	60	4 33	0,23	5,8	55
3 36	0,23	5,8	61	4 34	0,23	5,8	55
3 37	0,23	5,8	60	4 35	0,23	5,8	54
3 38	0,24	6,0	60	4 36	0,23	5,8	55
3 39	0,24	6,0	60	4 37	0,23	5,8	54
3 40	0,24	6,0	60	4 38	0,23	5,8	53
3 41	0,23	5,8	59	4 39	0,23	5,8	53
3 42	0,23	5,8	60	4 40	0,23	5,8	53
3 43	0,23	5,8	60	4 41	0,23	5,8	52
3 44	0,23	5,8	59	4 42	0,23	5,8	52
3 45	0,23	5,8	60	4 43	0,23	5,8	52
3 46	0,23	5,8	62	4 44	0,23	5,8	53
3 47	0,23	5,8	60	4 45	0,23	5,8	53
3 48	0,23	5,8	59	4 46	0,23	5,8	51
3 49	0,23	5,8	60	4 47	0,23	5,8	51
3 50	0,23	5,8	60	4 48	0,23	5,8	51
3 51	0,23	5,8	60	4 49	0,22	5,5	50
3 52	0,23	5,8	59	4 50	0,23	5,8	50
3 53	0,23	5,8	59	4 51	?	?	50
3 54	0,23	5,8	60	4 52	?	?	49
3 55	0,24	6,0	60	4 53	0,22	5,5	48
3 56	0,23	5,8	60	4 54	0,23	5,8	48
3 57	0,23	5,8	61	4 55	0,22	5,5	48
3 58	?	?	58	4 56	0,22	5,5	47
3 59	0,23	5,8	59	4 57	0,22	5,5	47
4 —	0,23	5,8	60	4 58	0,22	5,5	47
4 1	0,23	5,8	60	4 59	0,22	5,5	46
4 2	0,23	5,8	60	5 —	0,22	5,5	44
4 3	0,23	5,8	59	5 1	0,22	5,5	45
4 4	0,23	5,8	60	5 2	0,22	5,5	45
4 5	0,23	5,8	59	5 3	0,22	5,5	45
4 6	0,23	5,8	59	5 4	0,22	5,5	45
4 7	0,23	5,8	60	5 5	0,21	5,3	44
4 8	0,24	6,0	59	5 6	0,22	5,5	44
4 9	0,23	5,8	59	5 7	0,22	5,5	44
4 10	0,23	5,8	59	5 8	0,21	5,3	43
4 11	0,23	5,8	57	5 9	0,21	5,3	43
4 12	0,23	5,8	59				

Kammertemperatur 11,7° C. Galvanometerempfindlichkeit 228 mm-Skalenteile. Akkumulator bei 200 Ohm $10,0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Zimmertemperatur 10,9° C. Luftdruck 725,4 mm Hg. Gewicht des Muskels 0,78 g.

Mittelwerte aus zwölf aufeinanderfolgenden Serien von je zehn Zuckungen.

Serie	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.	Relativer Wirkungsgrad $= \frac{\text{Arbeit}}{\text{Wärme}}$
1	0,23	5,8	57	1,000
2	0,23	5,8	59	0,966
3	0,23	5,9	60	0,966
4	0,23	5,8	60	0,950
5	0,23	5,8	60	0,950
6	0,23	5,8	60	0,950
7	0,23	5,8	59	0,966
8	0,23	5,8	58	0,983
9	0,23	5,8	55	1,036
10	0,23	5,8	52	1,096
11	0,22	5,6	48	1,147
12	0,22	5,5	45	1,222

Bei 25 g dauernder Belastung hat sich nach 50 Zuckungen die Arbeit nicht verändert, die Wärme hat um 5 % zugenommen. Nach 90 Zuckungen war die Arbeit immer noch dieselbe, die Wärme hat um 4 % abgenommen. Nach 120 Zuckungen haben beide Grössen abgenommen, die Arbeit um 5 % und die Wärme um 21 %.

Der Wirkungsgrad hat nach 50 Zuckungen um 5 % abgenommen, nach 90 Zuckungen um 4 %, nach 120 Zuckungen um 22 % zugenommen.

Bei dem folgenden Versuche war der Muskel mit 95 g belastet.

Prüfung auf Leistungsfähigkeit bei 95 g dauernder Belastung.

Versuch vom 15. März 1905.

Linker Gastrocnemius jede Minute durch ↓ Ö.-Induktionsstrom (R.-A. 200 mm) vom Nerven aus maximal gereizt. Unpolarisierbare Elektroden. Zimmertemperatur 11,0° C. Luftdruck 722,6 mm Hg. Akkumulator bei 200 Ohm $10,0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Galvanometerempfindlichkeit 229 mm-Skalenteile. Thermosäule *a*. Im Thermokreis 230 Ohm Zus.-W. Kammertemperatur 11,4° C.

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen	Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
3 34	0,17	16	68	4 31	0,16	15	61
3 35	0,17	16	67	4 32	0,16	15	62
3 36	0,18	17	68	4 33	0,16	15	62
3 37	0,17	16	67	4 34	0,16	15	62
3 38	0,17	16	68	4 35	0,15	14	62
3 39	0,17	16	67	4 36	0,15	14	62
3 40	0,17	16	67	4 37	0,16	15	61
3 41	0,17	16	68	4 38	0,15	14	61
3 42	0,17	16	67	4 39	0,15	14	61
3 43	0,17	16	68	4 40	0,15	14	61
3 44	0,17	16	69	4 41	0,15	14	60
3 45	0,17	16	68	4 42	0,15	14	59
3 46	0,17	16	68	4 43	0,15	14	59
3 47	0,17	16	67	4 44	0,15	14	60
3 48	0,17	16	69	4 45	0,15	14	61
3 49	0,17	16	68	4 46	?	?	?
3 50	0,17	16	68	4 47	0,15	14	59
3 51	0,17	16	68	4 48	0,15	14	57
3 52	0,17	16	68	4 49	0,15	14	57
3 53	0,17	16	68	4 50	0,15	14	56
3 54	0,17	16	68	4 51	0,15	14	54
3 55	0,17	16	67	4 52	0,14	13	55
3 56	0,17	16	68	4 53	0,14	13	53
3 57	0,17	16	68	4 54	0,14	13	51
3 58	0,17	16	68	4 55	0,14	13	51
3 59	0,17	16	68	4 56	0,14	13	51
4 —	0,17	16	66	4 57	0,13	12	48
4 1	0,17	16	66	4 58	0,13	12	48
4 2	0,17	16	66	4 59	0,13	12	47
4 3	0,17	16	67	5 —	0,13	12	47
4 4	0,17	16	67	5 1	0,13	12	44
4 5	0,17	16	66	5 2	0,13	12	44
4 6	0,17	16	67	5 3	0,13	12	43
4 7	0,17	16	66	5 4	0,13	12	42
4 8	0,17	16	67	5 5	0,13	12	43
4 9	0,17	16	66	5 6	0,13	12	41
4 10	0,17	16	65	5 7	0,13	12	40
4 11	0,17	16	66	5 8	0,12	11	40
4 12	0,17	16	66	5 9	0,12	11	38
4 13	0,17	16	65	5 10	0,12	11	38
4 14	0,17	16	65	5 11	0,12	11	37
4 15	0,17	16	65	5 12	0,12	11	35
4 16	0,16	15	64	5 13	0,12	11	35
4 17	0,16	15	64	5 14	0,11	10	35
4 18	0,16	15	64	5 15	0,11	10	34
4 19	0,16	15	64	5 16	0,11	10	32
4 20	0,16	15	65	5 17	0,11	10	33
4 21	0,16	15	64	5 18	0,11	10	32
4 22	0,16	15	63	5 19	0,11	10	31
4 23	0,16	15	64	5 20	0,11	10	29
4 24	0,16	15	64	5 21	0,11	10	28
4 25	0,16	15	63	5 22	0,11	10	29
4 26	0,16	15	64	5 23	0,11	10	28
4 27	0,16	15	63	5 24	0,10	10	27
4 28	0,16	15	63	5 25	0,10	10	26
4 29	0,15	14	63	5 26	0,10	10	25
4 30	0,16	15	63	5 27	0,10	10	28

Zeit h '	Zuckungs-höhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalen-teilen	Zeit h '	Zuckungs-höhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalen-teilen
5 28	0,10	10	25	5 32	0,09	9	22
5 29	0,10	10	24	5 33	0,09	9	22
5 30	0,10	10	24	5 34	0,09	9	22
5 31	0,10	10	22				

Kammertemperatur 11,8° C. Galvanometerempfindlichkeit 228 mm-Skalenteile. Akkumulatar bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Zimmertemperatur 11,1° C. Luftdruck 720,9 mm Hg. Gewicht des Muskels 0,95 g.

Mittelwerte aus zwölf aufeinanderfolgenden Serien von je zehn Zuckungen.

Serie	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.	Relativer Wirkungsgrad $= \frac{\text{Arbeit}}{\text{Wärme}}$
1	0,17	16	68	1,00
2	0,17	16	68	1,00
3	0,17	16	67	1,02
4	0,17	16	66	1,03
5	0,16	15	64	1,00
6	0,16	15	63	1,01
7	0,15	14	61	0,98
8	0,15	14	57	1,04
9	0,13	12	47	1,09
10	0,12	11	39	1,20
11	0,11	10	31	1,37
12	0,10	10	25	1,70

Bei 95 g dauernder Belastung hat nach 50 Zuckungen die Arbeit um 6%, die Wärme gleichfalls um 6% abgenommen, nach 90 Zuckungen die Arbeit um 25%, die Wärme um 31%, nach 120 Zuckungen die Arbeit um 38%, die Wärme um 63% abgenommen.

Der Wirkungsgrad hat nach 50 Zuckungen denselben Wert wie im Anfang, nach 90 Zuckungen hat er um 9%, nach 120 Zuckungen um 70% zugenommen.

Prüfung auf Leistungsfähigkeit bei 196 g dauernder Belastung.

Versuch vom 16. März 1905.

Linker Gastrocnemius jede Minute durch ↓ Ö.-Induktionsstrom (R.-A. 200 mm) vom Nerven aus maximal gereizt. Unpolarisierbare Elektroden. Zimmertemperatur 10,0 C. Luftdruck 722,4 mm Hg. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Galvanometerempfindlichkeit 220 mm-Skalenteile. Thermosäule *a*. Im Thermokreis 230 Ohm Zus.-W. Kammertemperatur 11,1° C.

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.	Bemerkungen
10 15	0,13	25	97	
10 16	0,12	24	93	
10 17	0,13	25	91	
10 18	0,13	25	93	
10 19	0,13	25	92	
10 20	0,13	25	93	
10 21	0,13	25	90	
10 22	0,13	25	90	
10 23	0,12	24	89	
10 24	0,12	24	88	
10 25	0,12	24	?	Erschütterung
10 26	0,13	25	89	
10 27	0,12	24	84	
10 28	0,12	24	85	
10 29	0,12	24	83	Erschütterung
10 30	0,12	24	87	
10 31	0,12	24	86	
10 32	0,12	24	85	
10 33	0,12	24	85	
10 34	0,12	24	81	
10 35	0,12	24	84	
10 36	0,12	24	84	
10 37	0,12	24	79	Zu kurze Pause
10 38	0,12	24	85	
10 39	0,12	24	81	
10 40	0,12	24	82	
10 41	0,12	24	80	
10 42	0,12	24	79	
10 43	0,12	24	84	Erschütterung
10 44	0,12	24	78	
10 45	0,12	24	79	
10 46	0,11	22	78	
10 47	0,12	24	78	
10 48	0,12	24	78	
10 49	0,12	24	78	
10 50	0,11	22	79	
10 51	0,12	24	77	
10 52	0,12	24	78	
10 53	0,12	24	77	
10 54	0,11	22	75	
10 55	0,11	22	73	
10 56	0,11	22	77	
10 57	0,11	22	73	
10 58	0,11	22	77	
10 59	0,10	20	70	
11 —	0,10	20	69	
11 1	0,10	20	70	
11 2	0,10	20	70	
11 3	0,10	20	70	
11 4	0,10	20	69	
11 5	0,10	20	69	
11 6	0,10	20	69	
11 7	0,10	20	68	
11 8	0,10	20	68	
11 9	0,10	20	67	
11 10	0,10	20	68	
11 11	0,10	20	61	
11 12	0,10	20	67	

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.	Bemerkungen
11 13	0,10	20	66	
11 14	0,10	20	66	
11 15	0,10	20	66	
11 16	0,09	18	61	
11 17	0,09	18	59	
11 18	0,09	18	61	
11 19	0,09	18	57	
11 20	0,09	18	55	
11 21	0,09	18	56	
11 22	0,09	18	58	
11 23	0,09	18	57	
11 24	0,09	18	57	
11 25	0,09	18	57	
11 26	0,09	18	55	
11 27	0,09	18	57	
11 28	0,09	18	58	
11 29	0,09	18	56	
11 30	0,09	18	57	
11 31	0,09	18	55	
11 32	0,09	18	56	
11 33	0,09	18	54	
11 34	0,09	18	55	
11 35	0,09	18	55	
11 36	0,09	18	53	
11 37	0,09	18	52	
11 38	0,08	16	52	
11 39	0,08	16	49	
11 40	0,08	16	50	
11 41	0,08	16	49	
11 42	0,08	16	49	
11 43	0,08	16	48	
11 44	0,08	16	48	
11 45	0,08	16	47	
11 46	0,08	16	47	
11 47	0,08	16	46	
11 48	0,08	16	44	
11 49	0,08	16	44	
11 50	0,08	16	45	
11 51	0,08	16	43	
11 52	0,08	16	44	
11 53	0,07	14	43	
11 54	0,08	16	41	
11 55	0,08	16	40	
11 56	0,08	16	40	
11 57	0,08	16	41	
11 58	0,07	14	39	
11 59	0,07	14	38	
12 —	0,07	14	37	
12 1	0,07	14	39	
12 2	0,07	14	35	
12 3	0,07	14	37	
12 4	0,07	14	36	
12 5	0,07	14	35	
12 6	0,07	14	35	
12 7	0,07	14	36	
12 8	0,07	14	35	
12 9	0,06	12	34	
12 10	0,06	12	32	

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.	Bemerkungen
12 11	0,06	12	33	
12 12	0,06	12	32	
12 13	0,06	12	30	
12 14	0,06	12	29	
12 15	0,06	12	30	

Kammertemperatur 11,7° C. Galvanometerempfindlichkeit 222 mm-Skalenteile. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Zimmertemperatur 11,0° C. Luftdruck 722,4 mm Hg. Gewicht des Muskels 0,99 g.

Mittelwerte aus zwölf aufeinanderfolgenden Serien von je zehn Zuckungen.

Serie	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.	Relativer Wirkungsgrad $= \frac{\text{Arbeit}}{\text{Wärme}}$
1	0,13	25	92	1,00
2	0,12	24	85	1,04
3	0,12	24	82	1,08
4	0,12	23	78	1,09
5	0,10	21	72	1,07
6	0,10	20	67	1,10
7	0,09	18	59	1,12
8	0,09	18	56	1,18
9	0,08	17	51	1,23
10	0,08	16	44	1,34
11	0,07	15	38	1,45
12	0,06	13	33	1,45

Bei 196 g dauernder Belastung hat nach 50 Zuckungen die Arbeit um 16%, die Wärme um 22% abgenommen. Nach 90 Zuckungen beträgt die Abnahme der Arbeit 32% der Wärme 45%, nach 120 Zuckungen 48 bezw. 64%.

Der Wirkungsgrad hat nach 50 Zuckungen um 7%, nach 90 um 23%, nach 120 um 45% zugenommen.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Resultate dieser Versuchsreihe.

Übersicht über die mechanische und thermische Leistungsfähigkeit von Frühjahrsmuskeln.

g Belastung	nach 50 Zuckungen			nach 90 Zuckungen			nach 120 Zuckungen		
	Arbeit %	Wärme %	Wirkungsgrad %	Arbeit %	Wärme %	Wirkungsgrad %	Arbeit %	Wärme %	Wirkungsgrad %
5	+ 4	+ 2	+ 3	+ 2	— 13	+ 18	— 4	— 30	+ 28
25	± 0	+ 5	— 5	± 0	— 4	+ 4	— 5	— 21	+ 22
95	— 6	— 6	± 0	— 25	— 31	+ 9	— 38	— 63	+ 70
196	— 16	— 22	+ 7	— 32	— 45	+ 23	— 48	— 64	+ 45

c) Resultate der Versuche über mechanische und thermische Leistungsfähigkeit von Winter- und Frühjahrs-Muskeln.

Bei genauerer Betrachtung und Vergleichung der mitgeteilten Versuchsreihen ergeben sich einige bemerkenswerte Tatsachen.

Die Muskeln von Winterfröschen machen bei maximaler Reizung vom Nerven aus, während der ersten zehn Zuckungen, wenn die geleistete Arbeit wieder rückgängig gemacht wird, Wärmemengen frei, welche sich in ihrer Grösse sehr wesentlich abhängig zeigen von der Grösse der Belastung; die Muskeln von Frühjahrsfröschen dagegen machen unter denselben Bedingungen Wärmemengen frei, welche von der Belastung viel unabhängiger sind. Das geht deutlich aus der folgenden Zahlentabelle, noch besser aus der Kurventabelle hervor (Fig. 5*a* und *b*, 6*a* und *b*).

Übersicht über die mechanische und thermische Leistungsfähigkeit von Muskeln, welche von Winter- (Wi.) und Frühjahrsfröschen (Fr.) stammen.

Belastung	Serie von je 10 Zuckungen	Arbeit in gcm		Wärme in mm-Skalenteilen		Wirkungsgrad	
		Wi.	Fr.	Wi.	Fr.	Wi.	Fr.
5 g Gewicht des Muskels Wi. 0,74 g Fr. 0,96 g	1	1,44	1,35	48	60	1,00	1,00
	2	1,45	1,36	48	60	1,01	1,01
	3	1,45	1,39	47	61	1,03	1,01
	4	1,45	1,40	46	61	1,05	1,02
	5	1,43	1,41	44	61	1,08	1,03
	6	1,40	1,40	42	60	1,11	1,04
	7	1,40	1,40	40	58	1,67	1,07
	8	1,36	1,40	37	55	1,23	1,13
	9	1,35	1,38	34	52	1,32	1,18
25 g Gewicht des Muskels Wi. 0,71 g Fr. 0,78 g	1	6,8	5,8	61	57	1,00	1,00
	2	6,7	5,8	60	59	1,00	0,97
	3	6,8	5,9	62	60	0,98	0,97
	4	6,5	5,8	56	60	1,04	0,95
	5	6,4	5,8	51	60	1,13	0,95
	6	6,3	5,8	45	60	1,26	0,95
	7	6,0	5,8	39	59	1,38	0,97
	8	5,7	5,8	36	58	1,42	0,98
	9	5,5	5,8	31	55	1,59	1,04
95 g Gewicht des Muskels Wi. 0,64 g Fr. 0,95 g	1	17	16	87	68	1,00	1,00
	2	17	16	89	68	0,98	1,00
	3	17	16	89	67	0,98	1,02
	4	18	16	90	66	1,02	1,03
	5	18	15	91	64	1,01	1,00
	6	18	15	84	63	1,10	1,01
	7	17	14	72	61	1,21	0,98
	8	17	14	58	57	1,50	1,04
	9	15	12	46	47	1,67	1,09

Belastung	Serie von je 10 Zuckungen	Arbeit in gcm		Wärme in mm-Skalenteilen		Wirkungsgrad	
		Wi.	Fr.	Wi.	Fr.	Wi.	Fr.
196 g Gewicht des Muskels Wi. 0,65 g Fr. 0,99 g	1	37	25	122	92	1,00	1,00
	2	37	24	121	85	1,01	1,04
	3	37	24	114	82	1,07	1,08
	4	29	23	50	78	1,91	1,09
	5	13	21	9	72	4,76	1,07
	6	4	20	4	67	3,30	1,10
	7	2	18	2	59	3,30	1,12
	8	<2	18	1	56	—	1,18
	9	<2	17	1	51	—	1,23

Die weitere Tabelle gibt die Veränderungen nach 50 und 90 Zuckungen in Prozenten des Anfangswertes an, + bedeutet Zunahme, — Abnahme des betreffenden Wertes.

Übersicht über Veränderungen der mechanischen und thermischen Leistungsfähigkeit von Winter- und Frühjahrsmuskeln nach 50 und 90 Zuckungen in Prozenten des Anfangswertes.

Belastung g	nach 50 Zuckungen						nach 90 Zuckungen					
	Arbeit		Wärme		Wirkungsgrad		Arbeit		Wärme		Wirkungsgrad	
	Wi. %	Fr. %	Wi. %	Fr. %	Wi. %	Fr. %	Wi. %	Fr. %	Wi. %	Fr. %	Wi. %	Fr. %
5	— 0,7	+ 4	— 8	+ 2	+ 8	+ 3	— 6	+ 2	— 29	— 13	+ 32	+ 18
25	— 6	± 0	— 16	+ 5	+ 13	— 5	— 19	± 0	— 49	— 4	+ 59	+ 4
95	+ 6	— 6	+ 5	— 6	+ 1	± 0	— 12	— 25	— 47	— 31	+ 67	+ 9
196	— 64	— 16	— 93	— 22	+ 376	+ 7	—	— 32	—	— 45	—	+ 23

Wachsen die Belastungen von 5—196 g, so wachsen die Wärmemengen jeweils während der ersten 10 Zuckungen in Muskeln von Winterfröschen entsprechend 48—122 mm Skalenteilen also um das 2,5 fache, in Muskeln von Frühjahrsfröschen dagegen nur entsprechend 60—92 mm Skalenteilen, also nur um das 1,5 fache des Anfangswertes.

Im weiteren Verlauf der Zuckungen nimmt die Wärmebildung in den Muskeln von Winterfröschen rasch ab, in Muskeln von Frühjahrsfröschen viel langsamer.

Mit anderen Worten: Durch ein und denselben Reiz wird in Muskeln von Winterfröschen ein Feuer von beträchtlicher Intensität entflammt, welches aber rasch wieder abbrennt; in Muskeln von

Frühjahrsfröschen dagegen erreicht die Flamme nicht diese Höhe, brennt aber längere Zeit mit derselben Intensität weiter.

Ganz analog verhält sich bei Muskeln von Winter- und Frühjahrsfröschen die Arbeit, nur wird sie viel weniger von der Ermüdung beeinflusst als die Wärmebildung. Es bestätigt sich auch hier das bekannte Heidenhain'sche Gesetz[1]): „Mit fortschreitender Ermüdung sinkt die Wärmeentwicklung schneller als die Arbeit".

Der Wirkungsgrad muss dementsprechend bei Muskeln von Winterfröschen grösser sein als bei Muskeln von Frühjahrsfröschen, und das ist er in der Tat, d. h. von der gesamten durch den Reiz freigemachten Energie verwendet der Muskel des Winterfrosches viel mehr zur Arbeitsleistung als der Muskel des Frühjahrsfrosches und um so mehr, je ermüdeter der Muskel ist.

d) Versuch an einem Wintermuskel. Steigende Belastung.

Das merkwürdig verschiedene Verhalten der Muskeln von Winter- und Frühjahrsfröschen in bezug auf Wärmebildung zeigt sich nun nicht nur, wenn man verschiedene Muskeln nebeneinander bei steigender Belastung untersucht, sondern auch, wenn man denselben Muskel bei steigender Belastung untersucht. Man könnte einwenden, dass die Muskeln von verschiedenen Tieren nicht immer gut vergleichbare Resultate liefern, was an sich richtig ist. Um diesem nicht unberechtigten Einwande zu begegnen, seien zwei Versuche mitgeteilt, von denen je einer an dem Muskel eines Winter- und Frühjahrsfrosches angestellt wurde.

Prüfung auf Leistungsfähigkeit bei steigender Belastung. (Wintermuskel.)

Versuch vom 3. April 1905.

Linker Gastrocnemius jede Minute durch ↓ O.-Induktionsstrom (R.-A. 200 mm) vom Nerven aus maximal gereizt. Unpolarisierbare Elektroden. Zimmertemperatur 12,0° C. Luftdruck 732,5 mm Hg. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Galvanometerempfindlichkeit 236 mm-Skalenteile. Thermosäule *a*. Im Thermokreis 230 Ohm Zus.-W. Kammertemperatur 12,7° C.

---

1) A. a. O. S. 79.

Zeit h ′	Belastung in g	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.
3 8		0,32	1,60	54
3 9	5	0,32	1,60	53
3 10		0,32	1,60	54
3 11		0,32	2,88	61
3 12	9	0,32	2,88	59
3 13		0,32	2,88	60
3 14		0,31	5,9	72
3 15	19	0,31	5,9	71
3 16		0,31	5,9	71
3 17		0,29	8,4	78
3 18	29	0,30	8,7	78
3 19		0,30	8,7	78
3 20		0,28	11,4	80
3 21	41	0,28	11,4	85
3 22		0,28	11,4	86
3 23		0,27	15,9	91
3 24	59	0,28	16,5	91
3 25		0,27	15,9	90
3 26		0,26	20	97
3 27	78	0,26	20	97
3 28		0,26	20	96
2 29		0,25	24	104
3 30	95	0,25	24	104
3 31		0,25	24	104
3 32		0,23	29	109
3 33	126	0,23	29	109
3 34		0,23	29	106
3 35		0,22	33	113
3 36	148	0,22	33	112
3 37		0,22	33	111
3 38		0,21	34	113
3 39	163	0,21	34	114
3 40		0,21	34	116
3 42		0,19	37	112
3 43	196	0,19	37	115
3 45		0,20	39	116

4h 20′

Kammertemperatur 12,9° C. Galvanometerempfiudlichkeit 238 mm-Skalenteile. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Zimmertemperatur 12,6° C. Luftdruck 732,6 mm Hg. Gewicht des Muskels 0,70 g.

Mit zunehmender Belastung entwickelt der Muskel des Winterfrosches immer mehr Wärme, wenigstens bis zu einer Belastung von 163 g.

Anders verhält sich der Muskel des Frühjahrsfrosches.

e) Versuche an Frühjahrsmuskeln. Steigende Belastung.

Prüfung auf Leistungsfähigkeit bei steigender Belastung. (Frühjahrsmuskel.)

Versuch vom 3. April 1905.

Linker Gastrocnemius, durch ↓ Ö.-Induktionsstrom (R.-A. 200 mm) vom Nerven aus maximal gereizt. Unpolarisierbare Elektroden. Zimmertemperatur 12,5° C. Luftdruck 732,7 mm Hg. Akkumulator bei 200 Ohm 10,0 · 10−3 Amp. Galvanometerempfindlichkeit 239 mm-Skalenteile. Thermosäule *a*. Im Thermokreis 230 Ohm Zus.-W. Kammertemperatur 13,0° C.

Zeit h ′	Belastung in g	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.
5 15		0,30	1,50	76
5 16	5	0,31	1,55	74
5 17		0,30	1,50	74
5 19		0,30	2,70	81
5 20	9	0,30	2,70	79
5 21		0,30	2,70	79
5 23		0,29	5,5	86
5 24	19	0,29	5,5	85
5 25		0,29	5,5	84
5 28		0,28	8,1	92
5 29	29	0,28	8,1	91
5 30		0,28	8,1	91
5 32		0,26	10,7	101
5 33	41	0,26	10,7	101
5 34		0,26	10,7	100
5 36		0,25	14,7	101
5 37	59	0,26	15,3	101
5 38		0,25	14,7	101
5 40		0,24	19	105
5 41	78	0,24	19	103
5 42		0,24	19	104
5 44		0,23	22	108
5 45	95	0,23	22	106
5 46		0,23	22	106
5 48		0,22	28	109
5 49	126	0,22	28	108
5 50		0,22	28	109
5 52		0,21	31	110
5 53	148	0,21	31	108
5 54		0,21	31	110
5 56		0,20	33	111
5 57	163	0,20	33	109
5 58		0,20	33	111
6 —	196	0,19	37	113
6 1		0,19	37	111
6 2		0,19	37	110

6h 47′

Kammertemperatur 13,0° C. Galvanometerempfindlichkeit 233 mm-Skalenteile. Akkumulator bei 200 Ohm 10,0 · 10—3 Amp. Zimmertemperatur 12,2° C. Luftdruck 733,8 mm Hg. Gewicht des Muskels 1,07 g.

Obwohl der Muskel des Frühjahrsfrosches (1,07 g) viel kräftiger war als derjenige des Winterfrosches (0,70 g) ist bei ersterem schon bei 95 g Belastung nahezu das Maximum der Wärmebildung erreicht.

Noch auffälliger zeigt dieses Verhalten der folgende Versuch, schon bei 41 g Belastung erreicht dieser Muskel ein Maximum der Wärmebildung.

Prüfung auf Leistungsfähigkeit bei steigender Belastung. (Frühjahrsmuskel.)

Versuch vom 1. April 1905.

Linker Gastrocnemius durch ↓ Ö.-Induktionsstrom (R.-A. 200 mm) vom Nerven aus maximal gereizt. Unpolarisierbare Elektroden. Zimmertemperatur 11,8° C. Luftdruck 740,2 mm Hg. Akkumulator bei 200 Ohm 10,0 · 10—3 Amp. Galvanometerempfindlichkeit 228 mm-Skalenteile. Thermosäule *a*. Im Thermokreise 230 Ohm Zus.-W. Kammertemperatur 12,0° C.

Zeit h ′	Belastung in g	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.
11 8		0,28	1,40	77
11 9		0,30	1,50	77
11 10	5	0,28	1.40	77
11 11		0,28	1,40	76
11 12		0,28	1,40	77
11 14		0,27	2,43	81
11 15		0,27	2,43	80
11 16	9	0,27	2,43	82
11 17		0,27	2,43	82
11 18		0,28	2,52	83
11 20		?	?	94
11 21		?	?	94
11 22	19	0,29	5,5	93
11 23		0,28	5,3	94
11 24		0,28	5,3	94
11 26		0,28	8,1	100
11 27		0,29	8,4	100
11 28	29	0,29	8,4	99
11 29		0,29	8,4	100
11 30		0,29	8,4	101
11 32		0,28	11,4	108
11 33		0,28	11,4	108
11 34	41	0,28	11,4	108
11 35		0,28	11,4	106
11 36		0,28	11,4	106

Zeit h ′	Belastung in g	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.
11 38		0,28	16,5	106
11 39		0,28	16,5	108
11 40	59	0,28	16,5	107
11 41		0,28	16,5	109
11 42		0,28	16,5	106
11 44		0,27	21	107
11 45		0,26	20	107
11 46	78	0,26	20	106
11 47		0,27	21	105
11 48		0,27	21	107
11 50		0,25	24	107
11 51		0,26	25	109
11 52	95	0,25	24	106
11 53		0,25	24	106
11 54		0,25	24	107
11 56		0,24	30	107
11 57	126	0,24	30	108
11 58		0,23	29	107
12 —	148	0,22	33	108
12 2	163	0,22	36	107
12 4	196	0,20	39	108

Vergleicht man die drei letzten Versuche, so ergeben sich ganz analoge Resultate wie bei den früheren Versuchen. Steigt die Belastung von 5—196 g, so bildet der Muskel des Winterfrosches Wärmemengen entsprechend 53—116 mm Skalenteilen; der Muskel des Frühjahrsfrosches unter denselben Bedingungen Wärmemengen entsprechend 74—110 mm Skalenteilen bei dem einen Versuch und entsprechend 76—108 mm Skalenteilen bei dem zweiten Versuch. Der Minimalwert liegt eben bei Muskeln von Frühjahrsfröschen höher, das Intervall dagegen ist kleiner.

Mit Bestimmtheit geht aus den mitgeteilten Versuchen hervor, dass es durchaus nicht gleichgültig ist, in welcher Jahreszeit myothermische Versuche angestellt werden, ganz abgesehen von dem Einfluss, welchen etwa die verschiedene Temperatur in den verschiedenen Jahreszeiten ausüben kann. Dass diese Temperatur in den mitgeteilten Versuchen keinen merklichen Einfluss gehabt haben kann, geht daraus hervor, dass alle Versuche nahezu bei derselben Kammertemperatur angestellt wurden, das Minimum betrug 10,0° C., das Maximum 13,0° C.

5. Zur Frage, ob der Muskel mit zunehmender Inanspruchnahme sparsamer arbeitet.

A. Fick[1]) hat gegen die Beobachtung, dass der Muskel mit zunehmender Inanspruchnahme sparsamer arbeitet, eingewendet, dass bei der längeren Zuckungsdauer des ermüdeten Muskels die Wärmebildung innerhalb längerer Zeit vor sich gehe und daher der ermüdete Muskel nicht die Temperaturerhöhung erreiche wie der unermüdete Muskel mit seiner kürzeren Zuckungsdauer; der bessere Wirkungsgrad bei ermüdetem Muskel wäre also nur vorgetäuscht. O. Frank[2]) diskutiert diesen Einwand, ohne zu einem entscheidenden Resultate zu gelangen, er weist aber darauf hin, dass A. Fick später selbst nicht mehr an seinen Einwand geglaubt hat. Es wird sich in späteren Mitteilungen noch öfters Gelegenheit bieten, auf diesen Punkt zurückzukommen.

Im folgenden sei aber jetzt schon ein Versuch mitgeteilt, der diesen Einwand einigermassen entkräftet. Der Versuch wurde an dem schier unermüdlichen Doppelgastrocnemius-Präparate angestellt, welches von 4^{h} 28′ bis 6^{h} 40′ jede Minute nur einmal zuckte. Während der ganzen Versuchsdauer hatte sich die Zuckungshöhe nicht um das Geringste geändert, daraus lässt sich schliessen, dass auch wohl die Zuckungsdauer so ziemlich dieselbe geblieben sein wird, denn im allgemeinen ist Verlängerung der Zuckungsdauer mit einer Verkürzung der Zuckungshöhe verknüpft.

Das Präparat war mit 196 g belastet, jeder Muskel trug also 98 g. Ich kann leider nicht mehr angeben, ob das Präparat von einem Winter- oder Frühjahrsfrosche stammt.

Prüfung auf Leistungsfähigkeit bei 196 g dauernder Belastung.

Versuch vom 16. März 1905.

Doppelgastrocnemius jede Minute durch ↓ Ö.-Induktionsstrom (R.-A. 200 mm) von den zusammengelegten Nerven aus maximal gereizt. Unpolarisierbare Elektroden. Zimmertemperatur 10,8° C. Barometerstand 721,8 mm Hg. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Galvanometerempfindlichkeit 221 mm-Skalenteile. Gittersäule. Im Thermokreis 230 Ohm Zus.-W. Kammertemperatur 12,0° C.

---

1) A. Fick, Myothermische Untersuchungen 1889 S. 101. Verlag von J. F. Bergmann, Wiesbaden.

2) a. a. O. S. 465.

Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen	Zeit h ′	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteilen
4 28	0,18	35	117	5 25	0,18	35	85
4 29	0,18	35	117	5 26	—	—	—
4 30	0,18	35	115	5 27	0,18	35	86
4 31	0,18	35	114	5 28	0,18	35	84
4 32	0,18	35	115	5 29	0,18	35	82
4 33	0,18	35	118	5 30	0,18	35	83
4 34	0,18	35	114	5 31	0,18	35	82
4 35	0,18	35	114	5 32	0,18	35	83
4 36	0,18	35	112	5 33	0,18	35	81
4 37	0,18	35	113	5 34	0,18	35	83
4 38	0,18	35	114	5 35	—	—	—
4 39	0,18	35	114	5 36	0,18	35	83
4 40	0,18	35	110	5 37	0,18	35	83
4 41	0,18	35	111	5 38	0,18	35	83
4 42	0,18	35	111	5 39	0,18	35	80
4 43	0,18	35	111	5 40	0,18	35	82
4 44	0,18	35	110	5 41	0,18	35	80
4 45	0,18	35	110	5 42	0,18	35	82
4 46	?	?	107	5 43	0,18	35	83
4 47	0,18	35	107	5 44	0,18	35	81
4 48	0,18	35	107	5 45	0,18	35	81
4 49	0,18	35	106	5 46	0,18	35	82
4 50	0,18	35	104	5 47	0,18	35	81
4 51	0,18	35	102	5 48	0,18	35	80
4 52	0,18	35	102	5 49	—	—	—
4 53	0,18	35	101	5 50	0,18	35	82
4 54	0,18	35	99	5 51	0,18	35	80
4 55	0,18	35	98	5 52	0,18	35	82
4 56	0,18	35	99	5 53	0,18	35	78
4 57	0,18	35	96	5 54	—	—	—
4 58	0,18	35	97	5 55	0,18	35	81
4 59	0,18	35	96	5 56	0,18	35	81
5 —	0,18	35	95	5 57	0,18	35	84
5 1	—	—	—	5 58	0,18	35	82
5 2	0,18	35	92	5 59	0,18	35	80
5 3	0,18	35	93	6 —	0,18	35	79
5 4	0,18	35	93	6 1	—	—	—
5 5	0,18	35	91	6 2	0,18	35	80
5 6	0,18	35	91	6 3	0,18	35	80
5 7	0,18	35	91	6 4	0,18	35	79
5 8	0,18	35	91	6 5	0,18	35	78
5 9	0,18	35	88	6 6	0,18	35	79
5 10	—	—	—	6 7	—	—	—
5 11	0,18	35	90	6 8	0,18	35	80
5 12	0,18	35	87	6 9	0,18	35	79
5 13	0,18	35	87	6 10	0,18	35	79
5 14	0,18	35	88	6 11	0,18	35	77
5 15	0,18	35	87	6 12	0,18	35	77
5 16	0,18	35	87	6 13	0,18	35	77
5 17	0,18	35	88	6 14	0,18	35	76
5 18	0,18	35	87	6 15	0,18	35	74
5 19	0,18	35	87	6 16	0,18	35	75
5 20	0,18	35	86	6 17	—	—	—
5 21	—	—	—	6 18	0,18	35	76
5 22	0,18	35	87	6 19	0,18	35	76
5 23	0,18	35	86	6 20	0,18	35	76
5 24	0,18	35	86	6 21	0,18	35	74

Zeit h '	Zuckungs-höhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalen-teilen	Zeit h '	Zuckungs-höhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalen-teilen
6 22	0,18	35	76	6 32	0,18	35	79
6 23	0,18	35	75	6 33	0,18	35	72
6 24	0,18	35	75	6 34	0,18	35	71
6 25	0,18	35	74	6 35	0,18	35	72
6 26	0,18	35	77	6 36	0,18	35	73
6 27	0,18	35	75	6 37	0,18	35	73
6 28	0,18	35	73	6 38	0,18	35	71
6 29	0,18	35	74	6 39	0,18	35	68
6 30	0,18	35	76	6 40	0,18	35	72
6 31	0,18	35	74				

Kammertemperatur 12,0° C. Galvanometerempfindlichkeit 223 mm-Skalenteile. Akkumulator bei 200 Ohm $10{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Zimmertemperatur 11,5° C. Barometerstand 722,5 mm Hg. Gewicht der Muskeln 1,71 g.

Mittelwerte aus zwölf aufeinanderfolgenden Serien von je zehn Zuckungen.

Serie	Zuckungshöhe in cm	Arbeit in gcm	Wärme in mm-Skalenteil.	Relativer Wirkungsgrad $= \frac{\text{Arbeit}}{\text{Wärme}}$
1	0,18	35	115	1,00
2	0,18	35	111	1,04
3	0,18	35	101	1,14
4	0,18	35	93	1,24
5	0,18	35	88	1,31
6	0,18	35	85	1,35
7	0,18	35	82	1,40
8	0,18	35	81	1,42
9	0,18	35	80	1,44
10	0,18	35	77	1,49
11	0,18	35	75	1,53
12	0,18	35	73	1,58

Bei 196 g dauernder Belastung hat nach 50 Zuckungen die Arbeit um 0%, die Wärme um 23% abgenommen, nach 90 Zuckungen die Arbeit um 0%, die Wärme um 30%, nach 120 Zuckungen die Arbeit um 0%, die Wärme dagegen um 37% abgenommen.

Der Wirkungsgrad hat nach 50 Zuckungen um 31%, nach 90 Zuckungen um 44%, nach 120 Zuckungen sogar um 58% zugenommen.

Die Kurventabelle Fig. 7 gibt die Verhältnisse anschaulich wieder.

Während also innerhalb des mehr als zwei Stunden fortgesetzten Versuches die Arbeit nicht um das Geringste abgenommen hat, be-

gann die Abnahme der Wärme schon nach wenigen Zuckungen und betrug am Ende des Versuches 58 % des ursprünglichen Wertes.

Man wird daher in der Tat das Gesetz aussprechen dürfen, dass der ausgeschnittene Froschmuskel mit zunehmender Inanspruchnahme immer sparsamer arbeitet, den Wirkungsgrad also steigert.

6. Ergebnisse.

Eine myothermische Versuchsanordnung, welche milliontel Celsiusgrade zu messen gestattet.

Bei der Zuckung eines nur mit 5 g belasteten Gastrocnemius beträgt daher der durch den Thermostrom im Galvanometer erzeugte Ausschlag ohne Zusatzwiderstand 600—700 mm-Skalenteile. Eine Reihe methodischer Versuche beweist die Brauchbarkeit der Methode.

Die Wärmeproduktion zeigt bei Muskeln von Winter- und Frühjahrsfröschen charakteristische Verschiedenheiten, sie ist bei Wintermuskeln sehr wesentlich abhängig von der Belastung, bei Frühjahrsmuskeln viel weniger abhängig von derselben; der Minimalwert liegt, wenn die Belastung gesteigert wird, bei letzteren Muskeln höher, das Intervall ist aber kleiner als bei Wintermuskeln.

Die Wärmeproduktion lässt bei Wintermuskeln mit der Zeit viel früher nach als bei Frühjahrsmuskeln.

Mit andern Worten: Durch ein und denselben Reiz wird in Wintermuskeln ein Feuer von beträchtlicher Intensität entflammt, welches mit der Zeit aber rasch abbrennt, in Frühjahrsmuskeln dagegen erreicht die Flamme nicht diese Höhe, brennt aber längere Zeit mit derselben Intensität weiter.

Es gilt unzweifelhaft das Gesetz, dass der ausgeschnittene Froschmuskel mit steigender Inanspruchnahme sparsamer arbeitet, den Wirkungsgrad also steigert, und zwar tut dies der Wintermuskel in höherem Grade als der Frühjahrsmuskel, weil er früher ermüdet.

Fig. 1.



Fig. 2.

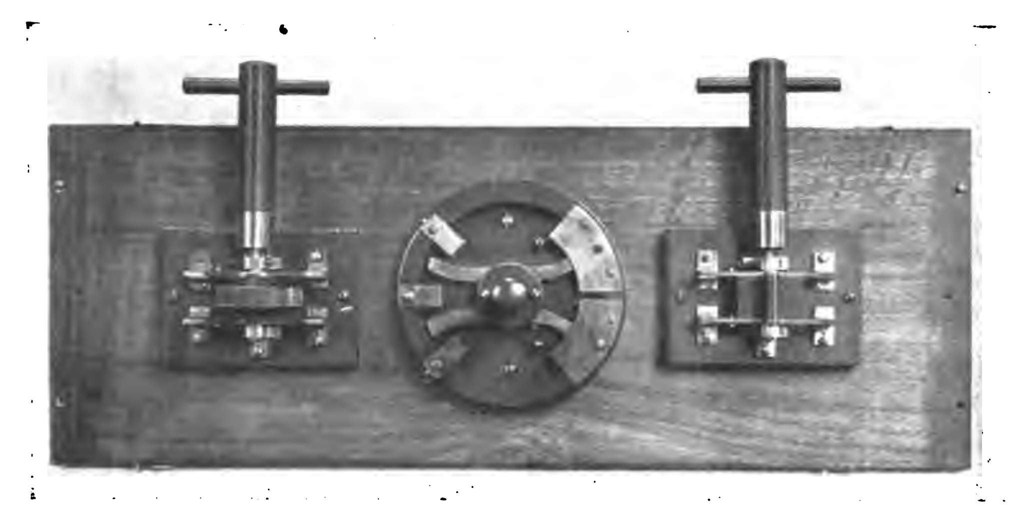


Fig. 3.

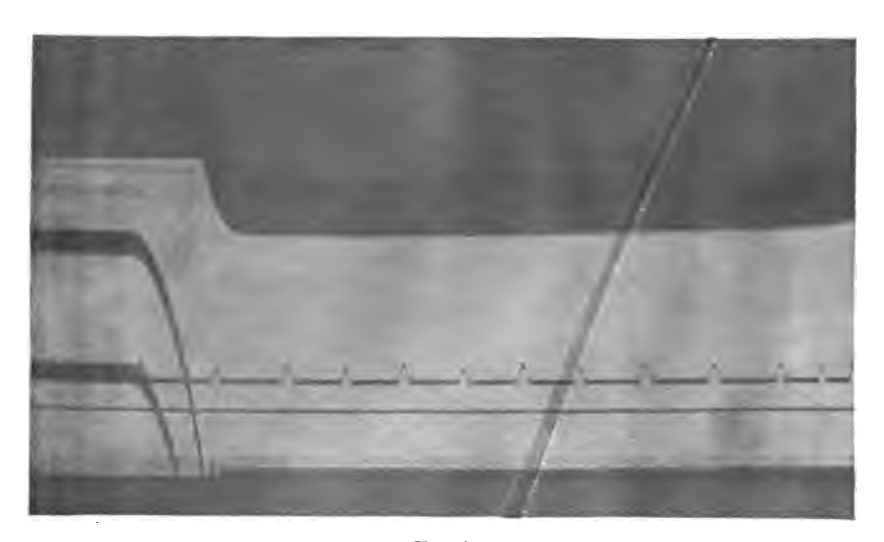
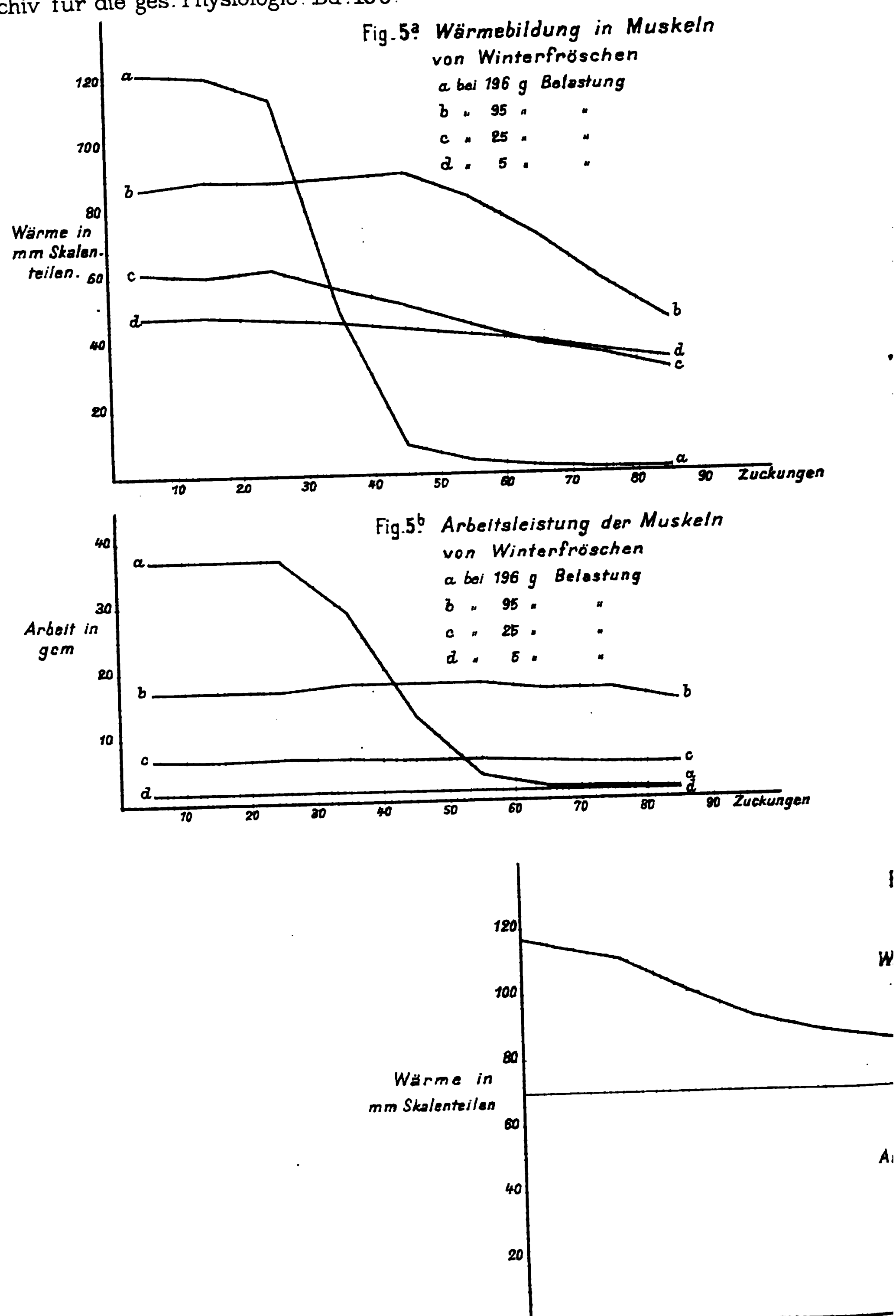
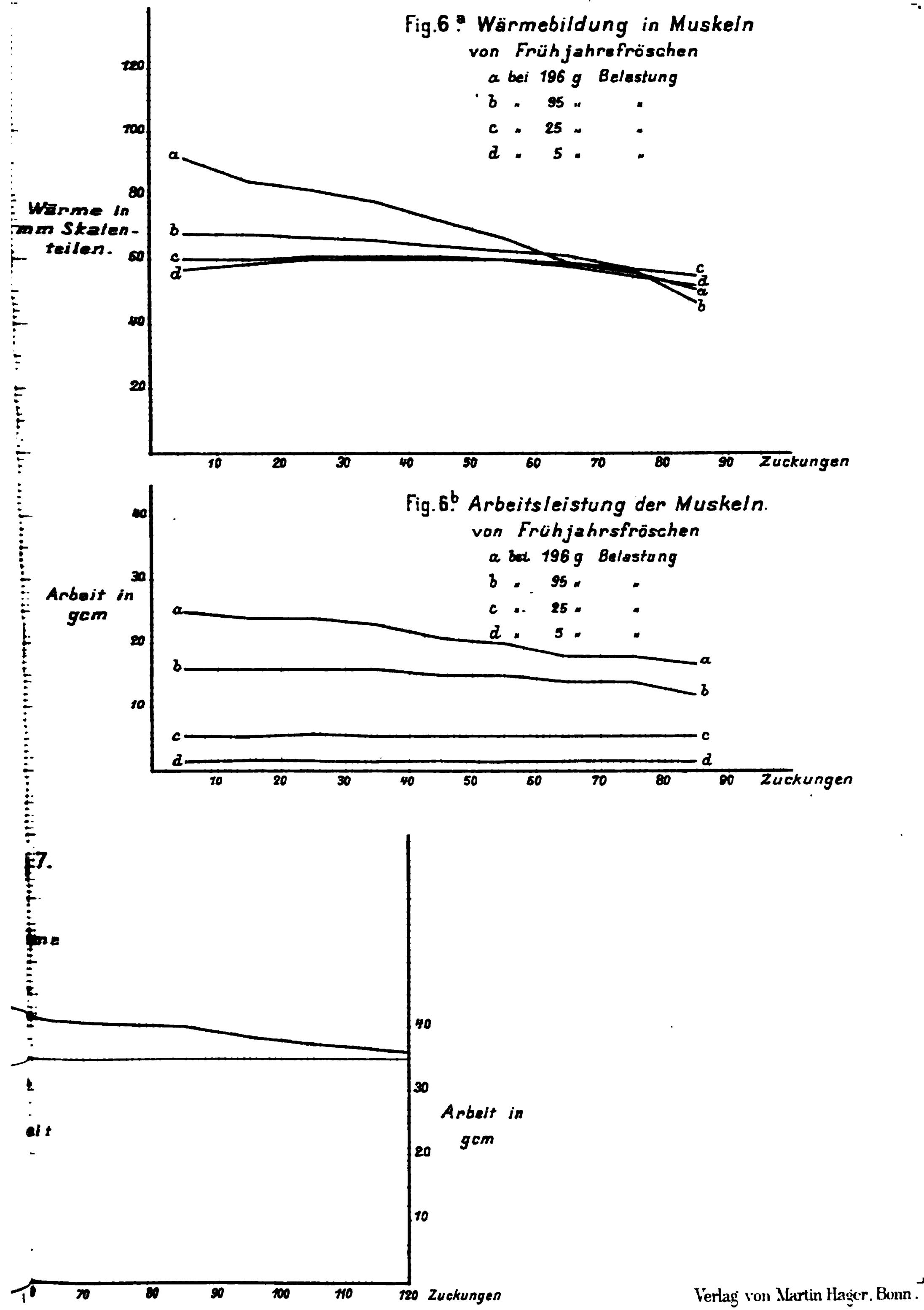


Fig. 4.



Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.



Verlag von Martin Hager, Bonn.

(From the R. Spreckel's Physiological Laboratory of the University of California, Berkeley, Cal. U. S. A.)

Über die Quellung von β-Gelatine.

Von

Wolfgang Ostwald.

(Mit 3 Textfiguren.)

M. Traube zeigte im Jahre 1867, dass eine 25 %ige Gelatinelösung ihr Erstarrungsvermögen bei längerem Erhitzen auf ca. 100° C. allmählich verliert[1]). „Nach 12 stündigem Kochen war die Gallerte beim Erkalten nicht mehr fest, nach (im ganzen) 31 stündigem Kochen blieb die Lösung nach dem Erkalten flüssig, ohne selbst nach 36 Stunden zu koagulieren. Nur zu sehr starker Konzentration eingedampft, bildete sie nach dem Erkalten noch eine Art Gallerte von geringer Konsistenz usw." Traube gab dieser nicht mehr erstarrenden Gelatineform den Namen „β-Gelatine".

Die einzigen systematischen Untersuchungen, die nach den Traube'schen Experimenten über den Einfluss längeren Erhitzens auf die Konsistenz von Gelatinelösungen der Literatur entsprechend gemacht zu sein scheinen, sind die von von Schroeder[2]). Dieser Autor verglich die innere Reibung sehr verdünnter Gelatinelösungen (was dem Erstarrungsvermögen konzentrierterer Lösungen entsprechen würde) nach längerem Erhitzen miteinander und fand, dass „die ‚thermische Vorgeschichte' einer Gelatinelösung von grösstem Einflusse

1) M. Traube, Ges. Schriften 1899 S. 221 resp. Reichert's und du Bois-Reymond's Arch. 1867 S. 87 ff.

2) v. Schroeder, Zeitschr. f. physikal. Chemie Bd. 45 S. 75 ff. 1903. — Es wird dabei abgesehen von gewissen zu andern Zwecken angestellten Versuchen von Quincke (Drude's Annalen Bd. 10 S. 485. 1903) sowie eventuell von einer mir nicht zugänglich gewesenen Dissertation von Ch. v. d. Heldc. München 1897.

auf deren innere Reibung war". Die beistehende Fig. 1 gibt die graphische Darstellung seiner Resultate.

Es erscheint mir nun zweckmässig, den Traube'schen Begriff der β-Gelatine insofern zu erweitern, als ich alle Gelatinelösungen

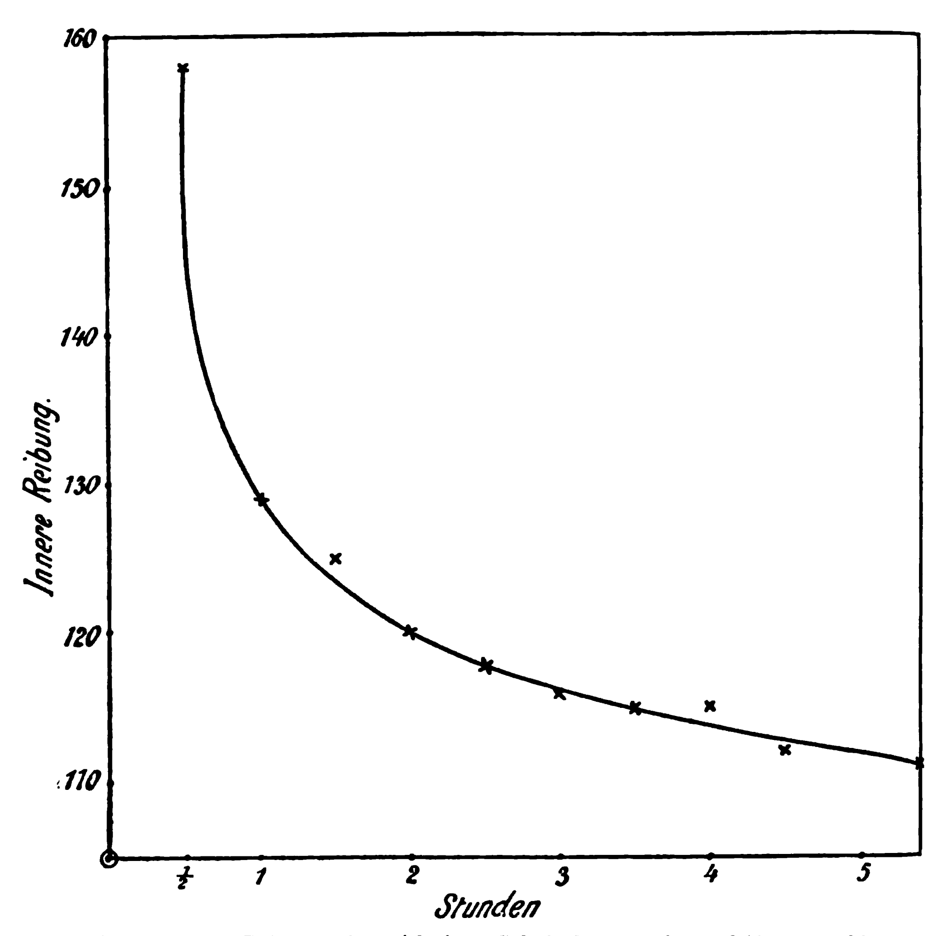


Fig. 1. Innere Reibung einer 1 %igen Gelatinelösung, die auf 100° C. erhitzt wurde (nach einer Tabelle von v. Schroeder, Zeitschr. f. physik. Chem. Bd. 45 S. 81. 1903). Die Messung der inneren Reibung geschah bei 25°, 24 Stunden nach dem Erhitzen. Innere Reibung des Wassers bei 25° gleich 100.

mit „thermischer Vorgeschichte" mit diesem Namen zu bezeichnen vorschlage. Natürlich gibt es, streng genommen, eine Gelatine ohne thermische Vergangenheit kaum oder nicht, doch ist für die Übergangsstufen zu nicht mehr erstarrenden Lösungen ein Name notwendig und, wie mir scheint, zweckentsprechend in der Bezeichnung

β-Gelatine gegeben. Im folgenden wird also unter β-Gelatine, im Gegensatz zu gewöhnlicher oder α-Gelatine, immer eine Gelatinelösung mit thermischer Vorgeschichte verstanden werden.

Bei den hier zu beschreibenden Versuchen handelt es sich darum festzustellen, welchen Einfluss die thermische Vorgeschichte von Gelatinelösungen auf die Wasseraufnahme beim Quellen derselben besitzt. Natürlich können zu solchen Experimenten nur erstarrte Platten dienen, d. h. die Versuche müssten sich auf erstens sehr konzentrierte Lösungen beziehen, sowie zweitens auf die Bestimmung von Gelatinen, welche überhaupt nicht mehr auch nach längerer Zeit erstarrten, also der eigentlichen β-Gelatinen im Traubeschen Sinne, verzichten. Denn falls auch im letztern Falle ein Festwerden der Lösungen durch Eintrocknen zu erlangen ist, so zeigten die Traube'schen Versuche, dass in diesem Falle keine Quellung, sondern eine sehr leichte Lösung in Wasser stattfand. Die folgenden Resultate werden diese Versuche bestätigen resp. um einiges erweitern.

Die Herstellung der Platten zu den Quellungsversuchen, welche in der von Hofmeister zuerst angegebenen Weise durch Wägen der quellenden Platten nach bestimmten Zeiten angestellt wurden[1]), geschah in folgender Weise: Ausgegangen wurde von einer tunlichst konzentrierten, d. h. etwa 25 %igen Gelatinelösung, welche durch vorsichtiges und langsames Erwärmen nicht über 50° C. in einem Glaskolben, der sich im Wasserbad befand, hergestellt wurde. Der letztere war mit einem Gummistopfen verschlossen, durch welchen erstens ein Thermometer und zweitens ein langes gebogenes und oben bedecktes Glasrohr (ähnlich wie bei den Traube'schen Versuchen) führte, welches oben, wenn nötig, mit Eis gekühlt wurde, so dass alles verdampfende Wasser wieder zurückfloss. Nach bestimmten Zeiten, die vom Beginn des Kochens der Lösung an gerechnet wurden, wurde mittels einer vorgewärmten Pipette ein bestimmtes Volum aus dem Kolben entnommen und auf vorbereitete, vollständig gleichgrosse und mit Rändern versehene Spiegelglasplatten zum Erstarren ausgegossen. Sobald die Platten erstarrt waren, wurden in der früher beschriebenen Art und Weise mit dem Lineal und scharfem Messer kleine quadratische, möglichst gleiche Scheiben geschnitten,

1) Siehe über die nähere Technik auch meine vorige Arbeit über Quellungserscheinungen in diesem Archiv.

diese erst bei Zimmertemperatur, dann bei allmählich erhöhter im Wärmeschrank getrocknet. Um sicher zu sein, dass der Wassergehalt der Platten der verschiedenen Güsse ein möglichst gleicher

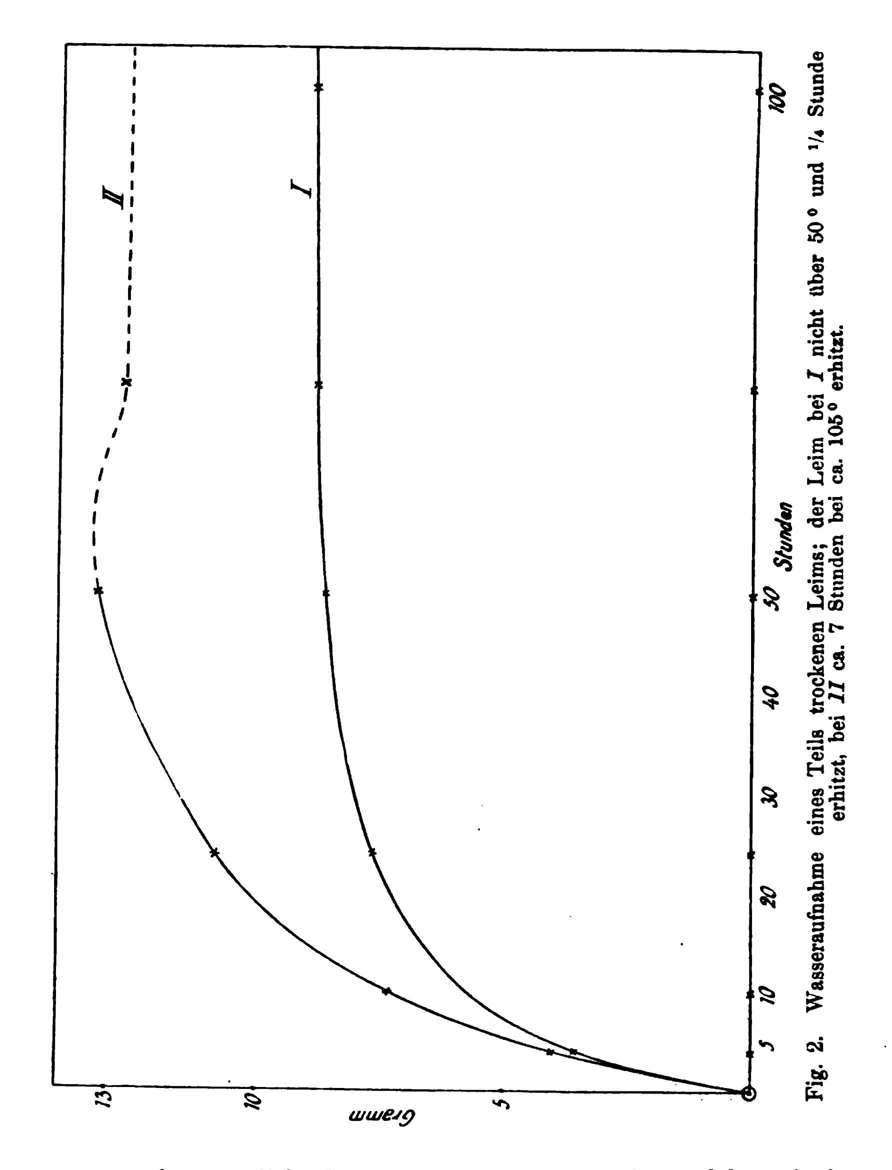


Fig. 2. Wasseraufnahme eines Teils trockenen Leims; der Leim bei *I* nicht über 50° und ¼ Stunde erhitzt, bei *II* ca. 7 Stunden bei ca. 105° erhitzt.

war, wurden sämtliche Platten mehrere Tage noch, nachdem sie in bekannter Weise steinhart und glasig geworden und, wie an einzelnen derselben festgestellt wurde, keine Gewichtsverminderung mehr statt-

fand, bei einer Temperatur von ca. 50° C. im Wärmeschrank gehalten. Zu Serienversuchen wurden nur Scheiben, welche bei der Bestimmung ihres Trockengewichtes (Luft- und Zimmertemperatur trocken) nur bis um 0,05 g voneinander differierten, selbstverständlich mit Berücksichtigung ihres genauen Einzelgewichtes verwendet.

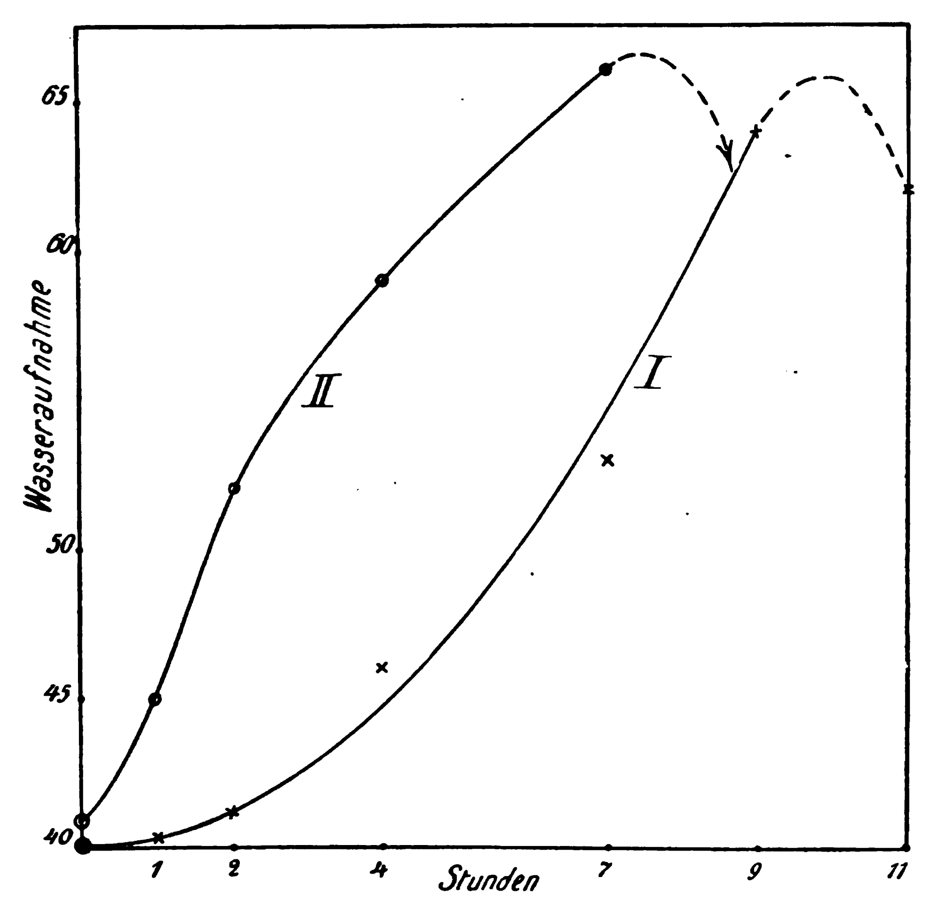


Fig. 3. Abhängigkeit der Quellung von β-Gelatine von der Dauer des Erhitzens. *I* nach 5 Stunden Quellung, *II* nach 8 Stunden Quellung.

Einschaltungsweise seien hier noch ein paar Bemerkungen über das nähere Verhalten solcher konzentrierter Gelatinelösungen bei längerer Erhitzung gemacht. Einer der auffälligsten Vorgänge ist zunächst der, dass die in bekannter Weise anfänglich graubraune, meist in dieser hohen Konzentration nur wenig durchsichtige Lösung

schon nach 3—4 Stunden Kochen deutlich beginnt heller und durchsichtiger zu werden. Nach ca. 12 stündigem Kochen ist die Flüssigkeit bis auf einen gleich zu erwähnenden Umstand vollständig klar und hat eine ungefähr bierbraune Färbung angenommen. Gleichzeitig aber beginnt deutlich und mich in ihrer Ergiebigkeit zuerst überraschend eine Abscheidung eines weisslichgelben Gerinnsels meist an der Oberfläche oder am Rande der Flüssigkeit. Selbstverständlich handelt es sich dabei nicht etwa um angebrannte Gelatine, wie man sie bei unvorsichtigem Erhitzen am Boden erhält. Über die Natur dieses Koagulums kann ich mich noch nicht näher äussern. Erwähnen möchte ich, dass auch Bütschli[1]) beim Erhitzen von Gelatine im zugeschmolzenen Rohr ein weisses Gerinnsel beobachtete, während bei Traube sich keine Angaben hierüber finden. Versuche mit salzfreier und chemisch mehr eindeutiger Gelatine, als ich sie hier verwenden konnte, haben zu entscheiden, ob es sich hier um eine Verunreinigung durch einen anderen Eiweisskörper, um eine Salzkoagulation des Leimes bei erhöhter Temperatur oder um eine echte Temperaturkoagulation von Gelatine entsprechend denen anderer Emulsionskolloide, wie Eiweiss z. B., handelt. Erwähnen möchte ich noch, dass sich dies Koagulum nicht oder kaum in kaltem und heissem Wasser löst.

Lässt man nun derartige Scheiben mit verschiedener thermischer Vorgeschichte unter gleichen Umständen (Temperatur, Luft, Wasservolum usw.) in Wasser quellen, so beobachtet man deutlich und schon nach kurzer Zeit, dass die Gelatine mit längerer thermischer Vorgeschichte viel mehr Wasser aufnimmt als die unerhitzte (siehe Tab. I S. 283 und Fig. 2).

Zu den letzten zwei Zahlen der rechten Kolumne ist zu bemerken, dass hier bereits die Platte so weich und brüchig war, dass, abgesehen von der durch Lösung der Gelatine hervorgerufenen noch zu besprechenden Abnahme des Plattengewichtes wahrscheinlich beim Abtrocknen einige Gelatineteile verloren gegangen sein werden.

Über die Abhängigkeit der Quellungsstärke von der Dauer des Erhitzens gibt Tab. II S. 283 und Fig. 3 Auskunft. Die Temperatur

1) Bütschli, Untersuchungen über Strukturen usw. S. 54. Leipzig 1898. — Ebenfalls auch Quincke (loc. cit.) der dies Koagulum für erstarrten Schaum ansieht.

Tabelle I.

Quellungsdauer	Gelatine nicht über 50° C. erhitzt. Gewicht der trockenen Platte 0,54 g. Auf ein Teil trockenen Leims aufgenommenes Wasser	Gelatine 7 Stunden auf ca. 100° C. erhitzt. Gewicht der trockenen Platte 0,51 g. Auf ein Teil trockenen Leims aufgenommenes Wasser
3¾ Stunden	3,48	3,96
10 "	5,79	7,31
24 "	7,61	10,92
50 "	8,59	13,16
71¼ "	8,91	{ 12,65
101 "	8,93	{ 12,63

Tabelle II.

5 Stunden Quellung. Gewicht der trockenen Platten zwischen 0,53 g und 0,56 g		8 Stunden Quellung. Gewicht der trockenen Platten zwischen 0,50 g und 0,53 g	
Dauer des Erhitzens auf ca. 105° C.	Wasseraufnahme eines Teils trockenen Leims	Dauer des Erhitzens auf ca. 105° C.	Wasseraufnahme eines Teils trockenen Leims
0	4,04	0	5,08
1	4,04	1	5,47
2	4,13	2	6,18
4	4,61	4	6,90
7	5,33	7	7,60
9	6,44	9	5,84
11	6,26		

betrug dabei ca. 105° C., entsprechend der Siedetemperatur der Lösung. Zu bemerken ist, dass es mir erst nach einer beträchtlichen Anzahl von Vorversuchen gelang, regelmässige Kurven ungefähr gleich der dargestellten zu erhalten. Zwar zeigten die Versuche fast ohne unzweideutige Ausnahme sämtlich eine allgemeine Zunahme der Quellungsstärke mit der Temperatur, doch waren zunächst die einzelnen Zunahmen sehr unregelmässig und unstetig. Wie die Wiederholung der Versuche mit anderen Platten desselben Gusses mit demselben Resultate zeigte, lag der Fehler in der Herstellung resp. dem Trocknen usw. der Platten. Durch besonders peinliche Beachtung der oben angegebenen Herstellungsregeln, insbesondere langem Trocknen erhielt ich sodann brauchbarere Werte. Fig. 3 veranschaulicht eins der besseren Beispiele, obschon die Werte der

Kurvenmitte in anderen Fällen wiederum viel gleichmässiger waren. Kurve II zeigt gleichzeitig, dass bei längerer Quellungsdauer sich die Gestalt bedeutend ändert, nämlich vom Ende der Kurve an beginnend konkav wird. Dies ist der Ausdruck für das Überhandnehmen der je nach der Dauer des Erhitzens eine um so grössere Rolle spielenden Lösungsvorgängen der Gelatine (siehe weiter unten).

Diese einfachen, wenn auch nicht übermässig leicht reproduzierbaren Versuche zeigen zunächst, dass die Quellungsstärke von β-Gelatine sich in derselben regelmässigen, aber entgegengesetzten Weise ändert, wie ihre innere Reibung. Dies ergibt besonders der Vergleich der nach den von Schroeder'schen Zahlen gezeichneten inneren Reibungskurve (Fig. 1) mit der Quellungskurve (Fig. 3). Zugleich wird das beim Einfluss von Säure und Alkali auf Quellung und innere Reibung früher festzustellende Verhältnis der Reziprozität beider Eigenschaften[1]) auch hier bestätigt. Es ist mit dieser Bezeichnung „Reziprozität" dabei zunächst nicht ein zahlenmässig übereinstimmendes, insbesondere formulier- oder berechenbares Verhältnis gemeint, da für die Feststellung eines solchen die bisherigen Versuche, welche für die Messung der inneren Reibung naturgemäss sehr verdünnte Lösungen, für die der Quellung entsprechend möglichst konzentrierte Lösungen benutzten, nicht geeignet sind. Vielmehr soll mit diesem Ausdruck nur auf die gleichsinnige Gestalt der Kurven oder ihre Spiegelbildlichkeit hingewiesen werden. Wie weit diese Übereinstimmung sich indessen erstreckt, kann z. B. aus der in der eben zitierten Abhandlung geschilderten Gleichheit besonderer Kurveneigentümlichkeiten bei Wirkungen von Säure und Alkali (Minima) für die innere Reibung sowohl, als für die Quellung und sogar bei ungefähr derselben Alkali- und Säurekonzentration ersehen werden.

Das bisher Gegebene schildert die Resultate, welche man mit in der oben angegebenen Weise dargestellten Platten erhält. Es erheben sich nun einige Fragen, deren Beantwortung zur Analyse der beobachteten Verhältnisse beiträgt.

Zunächst ist in Betracht zu ziehen, dass die benutzten Platten

1) Siehe die vorige Abhandlung über Quellungserscheinungen.

einen eigenen Wassergehalt zu Anfang der Versuche besassen. Dies ergibt sich daraus, dass die Platten, nachdem sie ca. 3—4 Tage bei ca. 50° C. getrocknet hatten, beim Erhitzen auf über 100° C. an Gewicht deutlich verloren. Trotzdem nun alle Platten der verschiedenen Güsse so gleichmässig als möglich behandelt wurden, ist es nicht ausgeschlossen, dass die aus verschieden lang erhitzter Gelatine hergestellten Scheiben bei gleich langem Trocknen usw. auch verschieden sind in ihrer Fähigkeit, bei 50° C. Wasser dauernd zu behalten. So könnte die stärkere Quellungsfähigkeit von β-Gelatine, wie sie mittelst der hier angegebenen Methode festgestellt wurde, eventuell darauf zurückgeführt werden, dass die getrockneten β-Scheiben weniger Wasser enthielten oder eine konzentriertere Gelatinelösung darstellten als die gewöhnlichen Leimscheiben, insbesondere da die Quellungsfähigkeit hier auf die Gewichtseinheit der trockenen Platten bezogen werden musste. Dass mit dem Erhitzen eine ganze Anzahl Eigenschaften der Gelatine sich ändern, ist schon oben erwähnt worden; hier sei noch nachgetragen, dass eine besonders auffällige Eigenschaft der β-Gelatineplatten darin besteht, dass sie deutlich mit zunehmender Erhitzungsdauer immer weniger beim Trocknen schrumpfen. Dies gilt besonders für die grossen Achsen des Parallelepipeds, d. h. die Querschnitte der β-Scheiben verkleinern sich beträchtlich, und zwar in bezug auf die Dauer des Erhitzens stetig weniger als die gewöhnlicher Leimplatten. Da hierzu im Gegensatz die kleinen Achsen, die Höhen der Scheiben, eher kürzer werden, so ist diese Eigentümlichkeit wohl auf die grössere Flüssigkeit der Scheiben resp. auf die grössere Beweglichkeit der Teilchen untereinander, die der Schwerkraft beim Trocknen eine grössere Rolle zuweist, zurückzuführen.

Um nun zu untersuchen, ob β-Gelatine ebensoviel Wasser bei gleichem Trocknen wie gewöhnliche Gelatine zu halten vermag, wurde folgendermassen verfahren. Von einer ca. 25%igen nicht über 50° C. und eine Viertelstunde lang erhitzten Gelatinelösung wurde in eins von zwei gleich grossen und gleichgestalteten, gewogenen Uhrschälchen möglichst genau 2 ccm gegeben und dasselbe in den Trockenschrank gestellt. Daraufhin wurde die Lösung unter möglichst sorgfältiger Vermeidung einer Konzentrationserhöhung durch Verdampfung (siehe oben) 12 Stunden lang erhitzt, worauf ebenfalls 2 ccm in das andere Uhrschälchen gegeben, sowie dieses

getrocknet wurde. Beide Schälchen wurden nun in Zwischenräumen gewogen, bis Gewichtskonstanz erreicht war. Das ganze Verfahren wurde mehrmals wiederholt.

Aus diesen Messungen nun ging hervor, dass, falls ein Unterschied zwischen der Fähigkeit, im getrockneten Zustande Wasser zu binden, vorhanden ist, er jedenfalls darin besteht, dass β-Gelatine mehr Wasser zu binden imstande ist als gewöhnlicher Leim. So ergaben drei Versuche, welche zu verschiedenen Zeiten und jedesmal mit einer neu hergestellten Lösung gemacht wurden, folgende Zahlen:

Tabelle III.

25 % ige Lösung	α-Gelatine	β-Gelatine
2 ccm etwa 10 Stunden getrocknet bei ca. 50° C.	0,40 g	0,439 14 Stunden erhitzt auf ca. 105° C.
2 ccm getrocknet bis zur Gewichtskonstanz bei ca. 50° C.	0,423 g	0,441 12 Stunden erhitzt auf ca. 105° C.
2 ccm getrocknet bis zur Gewichtskonstanz bei ca. 50° C.	0,436 g	0,447 12 Stunden erhitzt auf ca. 105° C.

Zu bemerken ist zu diesen Zahlen noch, dass, da die β-Gelatinelösung heisser abgemessen wurde als der α-Leim (ungefähr 105° C. gegen 40—50° C.), die Zahlen für β-Gelatine unter der Annahme, dass diese Lösungen sich bezüglich ihres thermischen Ausdehnungskoeffizienten wie krystalloide Lösungen verhalten[1]), wohl noch ein wenig zu niedrig sind. Um den Einfluss einer vielleicht trotz aller Vorsichtsmassregeln nicht ganz zu vermeidenden Verdunstung oder Verdampfung bei dieser Versuchsanordnung noch weiterhin einzuschränken, wurde jedesmal ein grösseres Quantum Lösung (ca. 100 ccm) erhitzt. Wie schon bemerkt, soll indessen auf die höheren Trockengewichte von β-Gelatine im positiven Sinne kein zu grosser Wert gelegt werden, nur geht unzweideutig aus ihm hervor, dass die grössere Quellungsfähigkeit von β-Gelatine keinesfalls darauf zurückzuführen ist, dass die β-Platten im getrockneten Zustande weniger Wasser an sich zu halten imstande sind, als Platten aus unerhitztem Leim.

---

1) Ich habe bis jetzt keine Messungen hierüber finden können.

Eine weitere Frage ist nun bezüglich der Löslichkeit der verschiedenen Gelatinen zu erheben. Bekanntlich löst sich gewöhnlicher α-Leim in kaltem (15—20 ° C.) Wasser nur ausserordentlich wenig und erst nach längerer Zeit. Dass indessen tatsächlich doch etwas in Lösung übergeht, lässt sich durch Fällen der nach längerem Stehen abfiltrierten Quellflüssigkeit mit Alkohol zeigen. Ganz im Gegensatz hierzu verhält sich, wie schon Traube bemerkt, β-Gelatine. Platten, die aus ca. 7 Stunden lang gekochtem Leim bestehen, sind meist (je nach ihrer Grösse) schon nach 6 Stunden fast vollständig zerflossen und lösen sich vollständig beim Umschütteln. Indessen ist auch bei β-Platten, wie z. B. Fig. 3 zeigt, anfangs die Löslichkeit beschränkt resp. eine nur sehr allmählich und stetig zunehmende Eigenschaft bis zu einer bestimmten Quellungsstärke, welche das Maximum der Wasseraufnahme obiger Quellungskurve darstellt, und bei welcher das Zerfliessen und eigentliche Auflösen der Platten beginnt. Dieser Punkt stellt jedenfalls die Grenze dar, bis zu welcher beim Eindringen resp. bei der Adsorption des Wassers die Mikrostruktur der Leimplatten erhalten bleibt.

Zusammenfassung.

Es wurden die Quellungseigenschaften von β-Gelatine (Traube), d. h. allgemein von Gelatine mit thermischer Vorgeschichte untersucht. Dabei zeigt sich, dass sowohl die Quellungsgeschwindigkeit als auch die Quellungsstärke grösser ist in β- als in α-Platten. Was die Abhängigkeit der Quellungsstärke von der Dauer des Erhitzens (auf ca. 105 ° C.) anbetrifft, so ergibt sich eine regelmässige, stetige Kurve, deren späterer Verlauf indessen durch die ebenfalls gesteigerte Löslichkeit der β-Gelatine gestört wird. Desgleichen wird auch bei längerer Quellungsdauer der letztgenannte Faktor einflussreicher. Bei Berücksichtigung dieser Umstände erweist sich die Kurve Quellungsstärke × Erhitzungsdauer von derselben resp. spiegelbildlichen Gestalt, wie sie von v. Schroeder für die Abhängigkeit der inneren Reibung verdünnter Gelatinelösungen und der Dauer ihres Erhitzens gefunden wurde. Der allgemeine Parallelismus dieser zwei Eigenschaften: Innere Reibung und Quellungsfähigkeit speziell -stärke, wie er durch frühere Untersuchungen über den Einfluss von Säure und Alkali gezeigt werden konnte, bestätigt sich also

auch bei der vergleichenden Untersuchung des Einflusses der thermischen Vorgeschichte auf beide Eigenschaften. — Es wird gezeigt, dass die grössere Quellungsfähigkeit von β-Gelatine nicht darauf beruht, dass die bei 50 ° C. getrockneten β-Platten weniger Wasser in diesem Zustande an sich zu halten vermögen als α-Platten. Endlich wird darauf hingewiesen, dass die gröberen Lösungserscheinungen quellender β-Platten von einer bestimmten maximalen Quellungsstärke an, nach welcher wahrscheinlich eine Zerstörung der Mikrostruktur der Platten stattfindet, beginnen.

Kritisches über Hans Koeppe's Hypothese der Beschaffenheit der Blutkörperchenwände.

Von

Dr. **G. Gryns,** Weltevreden (Java).

In Band 99 dieses Archivs erschien von Hans Koeppe eine Mittheilung „über das Lackfarbenwerden der rothen Blutscheiben", welche eine stattliche Reihe von Versuchen über die blutkörperchenlösende Wirkung der Wärme, des Wassers, der Säuren und Basen und von Aether, Chloroform, Aceton, Schwefelkohlenstoff u. s. w., welche letzteren Stoffe er als fettlösende zusammenfasst, bringt.

Koeppe nimmt nun auf Grund seiner Untersuchungen und theoretischen Erwägungen, die er an dieselben anschliesst, an, dass die rothen Blutscheiben Bläschen seien, von einer dünnen, aus Fett oder fettähnlichen Substanzen bestehenden Hülle umgeben, welche durch Wärme und fettlösende Mittel gelöst, durch Säuren und Alkalien verseift wird. Hierdurch erklärt er das Lackfarbenwerden des Blutes durch diese Mittel.

Das destillirte Wasser wirkt durch den osmotischen Druck, welcher die Bläschenwände zersprengt und das Gefrieren und Wiederaufthauen dadurch, dass beim Gefrieren reines Eis ausgeschieden wird und nun beim Wiederaufthauen das Schmelzwasser als destillirtes Wasser auf die benachbarten Scheiben einwirkt[1]).

---

1) Ich muss hier Widerspruch erheben gegen die Weise, durch welche Koeppe (S. 34) zeigen will, dass ich in meiner Arbeit über den Einfluss gelöster Stoffe auf die rothen Blutzellen[1]) die Wirkung des Wassers nicht verstanden habe, während ich doch schon in einer Mittheiluug an die Akademie der Wissenschaften zu Amsterdam[2]), am 24. Februar 1894, die Wirkung des Wassers auf den osmotischen Druck zurückgeführt hatte und betont, dass Ureum u. a. desshalb keine isotonische Lösung geben kann, weil es durch die Wand passirt und dadurch dem osmotischen Drucke der Zelle das Gleichgewicht nicht halten kann.

---

1) Jaarverslag v/h Laborat. voor Pathol., Anat. und Bacteriol. te Weltevreden 1895. Pflüger's Archiv Bd. 63. 1896. Verslagen.

2) Afdeeling Wis-en Natuurkunde; 24. Febr. 1894.

Die Wasserwirkung hat also nichts mit der fettähnlichen Beschaffenheit der Zellwand zu thun, hierzu ist es genügend, dass die Wand halbdurchlässig sei, d. h., dass sie die gelösten Stoffe nicht, das Wasser aber leicht durchpassiren lässt. (Was man aber von einer fetten oder fettähnlichen Wand, die das Wasser nicht benetzen würde, sich schwierig vorstellen kann.)

Ich hatte schon damals die Absicht, der Hypothese der fettähnlichen Wand zu widersprechen, wurde aber durch verschiedene Umstände davon abgehalten. Jetzt erscheinen aber die zweite und dritte Mittheilung[1]), in welchen Koeppe dieselben Untersuchungen weiter verfolgt, und die mich veranlassen, meine Einwände zu veröffentlichen.

Zuvor muss ich bemerken, dass man nicht von dem Lackfarbenwerden der rothen Blutkörperchen, sondern nur von dem Lackfarbenwerden des Blutes reden kann, da die Blutscheiben schon so durchscheinend und gefärbt, i. e. lackfarben sind; das Blut aber ist opak und gefärbt (deckfarben) und wird durchscheinend, wenn die rothen Scheiben vernichtet werden.

Koeppe hebt hervor, dass verschiedene Substanzen, die dem Blute zugesetzt, dasselbe lackfarben machen, die gemeinsame Eigenschaft haben, Fett zu lösen, und schliesst nun daraus, dass die Wirkung dieser Stoffe darin bestehe, dass sie die fettähnliche Wand der Körperchen lösen, wodurch der Inhalt frei wird.

Nun wird aber das Blut schon lackfarben, wenn man es mit einer nicht völlig gesättigten, wässerigen Lösung von Aether oder von Chloroform versetzt, während auch eine 15 %ige Alkohol- und eine 2 %ige Chloralhydratlösung ausreichen, um die erwähnte Reaction hervor zu rufen.

Es löst sich aber in keiner der Lösungen Fett, auch keine mit Fett verwandten Stoffe, wie Cholestearin und Lecithin, und das Zurückführen des Farbstoffaustrittes auf die Lösung einer fettähnlichen Membran ist somit völlig unberechtigt.

Dass die Geschwindigkeit des Lackfarbenwerdens bei Einwirkung von Alkalien der Concentration der OH-Ionen annähernd proportional sei, schliesst Koeppe aus einer Zahlenreihe (S. 73 Versuch 7), welcher wohl ein Anderer das Gegentheil entnehmen würde.

Bei der Säurewirkung findet man sogar den Schluss (S. 64):

---

1) Dieses Archiv Bd. 107 S. 86 und 183.

„Eine Proportionalität zwischen Menge der H-Ionen und Geschwindigkeit des Eintrittes des Lackfarbenwerdens ergaben die Versuche jedenfalls; es ist noch festzustellen, ob diese Proportionalität sich zahlenmässig genau oder nur annäherungsweise ergibt.“ Der Begriff Proportionalität scheint also bei Koeppe ein sehr eigener zu sein, zumal er auf der nächsten Seite schon schreibt, „die Geschwindigkeit des Reactionseintrittes ist also der Zahl der Wasserstoff-Ionen nicht proportional.“ Auch nicht wenn er eine Correction (S. 66) für die von dem alkalischen Blute gebundene Säure anbringt. Dem ungeachtet „erfolgt das Lackfarbenwerden durch Säuren unter Bedingungen, welche vermuten lassen, dass die freien Wasserstoff-Ionen für das Eintreten der Reaction verantwortlich zu machen sind,“ also „ist in diesem Falle der Vorgang des Lackfarbenwerdens als ein katalytischer aufzufassen“.

Diese letztere Folgerung ist geradezu verblüffend, und man erkennt daran, wie unberechtigt Koeppe Schlüsse zieht. Denn bei allen Reactionen wird doch der Antheil der Säuren an der Reactionsgeschwindigkeit nach der Zahl ihrer freien Ionen bemessen. Wenn es also selbst Koeppe gelungen wäre nachzuweisen, dass die Geschwindigkeit des Lackfarbenwerdens der Menge der OH- (bez. der H-)Ionen proportional wäre, dann ginge hieraus doch nur hervor, dass die Säuren und Alkalien eine Wirkung ausüben, die ihrer Geschwindigkeit nach den Gesetzen der chemischen Reactionen unterworfen, also wahrscheinlich eine chemische sei, ohne über Art und Weise dieser chemischen Processe irgend etwas auszusagen.

In der dritten Mittheilung und in dem Aufsatze über die Volumenbestimmung der rothen Blutkörperchen durch Zentrifugieren im Haematokriten[1]) sieht Koeppe einen neuen Beweis für seine Fetthypothese in dem Umstande, dass die Blutkörperchenmasse durchscheinend wird, wenn man so stark centrifugirt, oder durch Chlorammon bewirkt, dass die Scheiben Wand an Wand aneinander gedrückt werden. Wer diese Auseinandersetzung aufmerksam liest, wird klar erkennen, dass Koeppe die richtige Erklärung[2]) mit seiner Fetthypothese

---

1) Dieses Archiv Bd. 107 S. 187.

2) Das Blut ist deckfarben ungeachtet des Lackfarbenseins der rothen Blutkörperchen, weil diese ein anderes lichtbrechendes Vermögen haben als das Serum und desshalb auf jeder Grenzfläche ein Theil des passirenden Lichtes zurückgeworfen wird, was bei den vielen Körperchen zu völliger Undurchlässigkeit

zwecklos vermischt, und den Eindruck bekommen, dass der Freund wohl die richtige Erklärung der Deckfarbe des Blutes (die wohl fast eben so alt sein wird als die Entdeckung der rothen Blutkörperchen; Swammerdam 1658, Malpighi 1661) Koeppe mitgetheilt habe, dieser aber dieselbe nur im Spiegel seiner Fetthypothese verzerrt gesehen hat. Denn es ist nach der geläufigen Erklärung ganz gleichgültig, von welcher Art die Wände der Scheibchen sind, wenn sie nur elastisch sind, so dass sie sich aneinander schmiegen können.

Es bleibt also von den Argumenten, die für die Koeppe'sche Hypothese sprechen sollten, nicht viel übrig. Wir werden jetzt sehen, was sich der Annahme einer Fettwand widersetzt.

1. Im Anfang habe ich schon bemerkt, dass, wenn die Wände der Blutscheibchen Fett oder eine ähnliche Substanz darstellten, dieselben durch das Wasser nicht benetzt werden könnten, da bekanntlich das Wasser sich über Fetten nicht ausbreitet. Da aber die erste Bedingung für das Durchdringen einer Membran diese ist, dass die Flüssigkeit dieselbe imbibirt, und dies nur geschehen kann, wenn die Flüssigkeit sich über die Substanz der Membran ausbreitet, so kann ich nicht einsehen, wie das Wasser durch die fettähnliche Wand leicht durchfiltriren kann.

2. Die Blutkörperchen werden vom Wasser nicht gelöst, sondern zersprengt. Wenn nun die Wände, die nach dem Austreten des Inhalts zurückbleiben, ein fettähnlicher Körper wären, so müssten diese ein grosses lichtbrechendes Vermögen haben und deswegen in der Flüssigkeit leicht erkennbar bleiben, was offenbar nicht der Fall ist.

3. Die Wände werden[1]) von Aether und Alkohol nicht gelöst.

Koeppe hätte dies bei einiger Aufmerksamkeit aus den Arbeiten von Woolridge und Hammerslag, die er in seiner II. Mittheilung citirt, schon entnehmen können. Ich will hier aber einen Versuch heranziehen, den ich 1892 in Ludwig's Laboratorium zu Leipzig sah, und der sich leicht wiederholen lässt.

Vermischt man defibrinirtes Blut mit etwa der Hälfte seines Volumens an Aether, so wird es lackfarben. Man lässt nun den Aether

---

des Blutes führt. Sobald aber die gleich stark lichtbrechenden Körperchen aneinanderliegen, hört das Zurückwerfen des Lichtes an die Grenzschichten auf; die Masse wird durchscheinend.

1) Unter den von Koeppe gewählten Versuchsbedingungen.

absetzen und saugt die obere Schicht mit einer Pipette ab. Dann lässt man stehen, bis der Rest des Aethers verdunstet ist, und fügt nunmehr ein Quantum 25 %igen Alkohols zu, schüttelt und lässt wieder absetzen. Die letztere Manipulation wiederholt man einige Tage und bekommt schliesslich einen weissen Niederschlag, der grösstentheils aus Schatten (stromata) besteht.

Nach Koeppe hätten diese sich sowohl in dem Aether als in der Alkoholmischung lösen müssen; sie haben aber weder das eine, noch das andere gethan.

Die Vorstellung Koeppe's, dass die Blutkörperchen Bläschen seien mit fettähnlichen Wänden und flüssigem Inhalt, bedeutet meiner Ansicht nach einen enormen Rückschritt in unseren Kenntnissen über das Wesen der Zelle. Denn wenn gleich bei den Säugethieren die rothen Scheiben ihren Kern verloren haben, so ist dieser bei Vögeln, Reptilien u. s. w. noch vorhanden, und das Vogelblut benimmt sich Lösungen und verschiedenen schädigenden Momenten gegenüber genau so wie das der Mammalia. Und auch bei Pflanzenzellen treten dergleiche Erscheinungen auf[1]).

Man wäre also gezwungen, auch für diese fettähnliche Wände zu postuliren. Nun hat aber schon Pfeffer gezeigt, dass man in den Zellen künstliche Vacuolen an beliebiger Stelle hervorrufen kann, indem man kleinste Salzpartikelchen oder Tröpfchen starker Salzlösung in die Zelle einführt, und dass auch diese Vacuolen eine halbdurchlässige Wand haben. Weiter ist von Verworn[2]) und anderen gezeigt worden, dass man einzellige Thiere durchschneiden kann, so dass beide Theilstücke längere Zeit weiter leben können, während Rollett[3]) angibt, dass man auch rothe Blutkörperchen durch gewisse Eingriffe zerstückeln kann, ohne dass Farbstoff aus den Stücken austritt. Die Schnittfläche muss also auch jedes Mal eine halbdurchlässige Wand sein. Man wird so gezwungen zu der Vorstellung, die ich schon in meiner früheren Arbeit vertreten[4]), dass

---

1) Hugo de Vries, Sur l'imperméabilité du protoplasme des betteraves rouges. Arch. Néerland. t. 6 p. 121. 1871. — Hugo de Vries, Sur la mort des cellules végétales par l'effet d'une température supérieure. Arch. Néerland t. 6 p 261, 270.

2) H. Verworn, Allgemeine Physiologie.

3) A. Rollett, dieses Archiv Bd. 82 S. 252.

4) De invloed van opgeloste stoffen op de bloedlichaampjes in verband met de verschynselen van osmose en diffusie. Geneesk. Tydschr. voor Ned. Indie Deel 35. 1895. — Deutsche Veröffentlichung. Dieses Archiv Bd. 63 (II. Schluss).

der ganze Zellkörper sich wie eine halbdurchlässige Wand benimmt, dass also das Wasser in der Zelle überall leichten Durchtritt gestattet, der Bewegung vieler gelösten Stoffe aber grosser Widerstand gesetzt ist.

Es sei mir erlaubt, im Zusammenhange mit diesen Erörterungen hier einen Augenblick einzugehen auf Rollett's[1]) Kritik über die in meiner oben erwähnten Arbeit von den rothen Blutscheiben gegebenen Vorstellung, nach welcher diese ihrem osmotischen Verhalten nach nur zu einem gewissen Theile als Lösung zu betrachten seien. Ich gelangte zu dieser Vorstellung durch folgende Thatsachen.

Lässt man Blut oder Blutkörperchenmasse mit wenig Serum durch wiederholtes Gefrieren und Aufthauen lackfarben werden, so hat die Mischung dieselbe Gefrierpunktserniedrigung (Δ) als das Serum. Vermischt man aber Blut mit distillirtem Wasser, so wird Δ der Mischung niedriger, als man aus der Verdünnung und dem Gesetze des osmotischen Druckes berechnet, selbst falls man das Fortschreiten der Dissociation vernachlässigt[2]).

Da die Blutkörperchen sich bei der Wasserentziehung und der Wasseraufnahme genau nach den osmotischen Gesetzen verhalten, muss man dasjenige in ihnen, das den Wasserwechsel beherrscht, als Lösung auffassen.

Wir haben dann zwei Lösungen, die durch eine Grenzschicht getrennt sind, welche Wasser durchpassiren lässt. Es muss also nothwendigerweise Isotonie entstehen, wofern nicht im Inneren des Blutkörperchens ein hydraulischer Druck herrscht, welcher dem Unterschied zwischen innerem und äusserem osmotischen Druck die Waage hält. Einen solchen Druck kann man aber im Inneren des Blutkörperchens nicht annehmen, da, wenn derselbe existirte, das elastische Körperchen aus rein mechanischen Gründen nothwendig die Kugelform haben müsste.

Die Isotonie zwischen Serum und der Lösung im Körperchen wird durch den ersten Versuch bestätigt.

Der Unterschied zwischen Berechnung und Beobachtung im zweiten Versuch kann deshalb nur daher rühren, dass wir bei der Berechnung das an der Mischung sich betheiligende Quantum Lösung

---

1) Rollett, dieses Arch. Bd. 82 S. 261 ff.

2) H. J. Hamburger machte schon diese Beobachtung. Receuil des traveaux chimiques des Pays-Bas t. 13 H. 2 p. 76.

zu hoch angeschlagen haben, und dies nur deshalb, weil wir unrichtig das ganze Blutkörperchen als Lösung in die Rechnung gezogen haben. Ein Theil des Körperchens kommt für die osmotischen Erscheinungen nicht in Betracht, soll also als Nichtlösung aufgefasst werden.

Ob nun in diesem als Lösung zu betrachtenden Theil das Hämoglobin gelöst sei oder nicht, darüber habe ich nirgends etwas ausgesagt; nur unterschiebt Rollett mir diese Behauptung.

Ich berechnete damals für Pferdeblut den als Lösung zu betrachtenden Theil auf 33—35 %. Rollett meint nun, dies sei mit der chemischen Zusammensetzung der rothen Körperchen nicht vereinbar [1]).

Wir wollen deshalb versuchen, aus den chemischen Daten den gelösten Theil der Blutscheiben zu berechnen.

Ich entnehme die Zahlen, welche sich auf die chemische Analyse des Pferdeblutes beziehen, aus Tigerstädt, Lehrbuch der Physiologie des Menschen 1905 S. 194.

Da es sich bei dem Wasseraustausch zwischen Zellen und Menstruum um osmotischen Druck, nicht um Gefrierpunkterniedrigungen handelt, müssen wir mit dem Volum, nicht mit dem Gewichte des Wassers rechnen.

Das Volum der Körperchen beträgt beim Pferde im Durchschnitt 36 %; das specifische Gewicht des Blutes 1055. In 1000 Gewichtstheilen Blut sind also $\frac{360}{1{,}055} = 341$ ccm Blutkörperchen.

Wir wollen nun vorläufig annehmen, dies ganze Volum komme als Lösung in Betracht, und daraus berechnen, wieviel Molen (bezw. Ionen) pro Liter diese Lösung enthalten soll. Dabei werden wir nach Rollett's Vorschrift das Hämoglobin als ungelöst betrachten, und deshalb auch das Eisen, das fast ganz am Hämoglobin gebunden ist, nicht mitrechnen.

Weiter wollen wir das Eiweiss, das wahrscheinlich auch zum Theil mit dem Hämoglobin verbunden oder fixirt ist, und dem wegen seines ausserordentlich hohen Molekulargewichtes doch fast kein Einfluss zukommt, vernachlässigen und ebenso die geringen Mengen Fettsäure und Cholestearin.

Auch das Lecithin, das wahrscheinlich nicht frei vorkommt, und

1) l. c. S. 262.

auch nur in Wasser quillt zu einer opalisirenden Lösung, kommt ebenfalls nicht in Betracht.

Ueberdies geben diese Verbindungen mit Säuren oder Basen Bindungen, in denen sie nur als sehr schwache Basen oder Säuren sich benehmen, und die deshalb nur wenig dissociirt sein können, in welchem Falle also nur das eine der ungetrennten Ionen mit gerechnet werden muss.

Wir wollen aber die K-, Mg-, Cl- und P-Verbindungen als ganz dissociirt ansehen, da wir dieses mit der zu vergleichenden NaCl-Lösung, mit welcher das Serum isotonisch ist, auch thun werden. Hierbei machen wir zwar einen Fehler, indem die Dissociation in den Blutkörperchen etwas kleiner sein muss, da die gegenseitige Beeinflussung verschiedener Verbindungen gewöhnlich eine herabsetzende ist, dieser Fehler wird aber zum Theil von den nicht berechneten gelösten organischen Verbindungen compensirt.

Wir haben dann

Analyse	Ionen	Nach den Valenzen
1,32 g Kali oder	0,0822 Ionen pro Liter[1]),	0,0822
0,04 g Magnesia	0,0029 „ „ „	0,0058
		0,0880
0,76 g Phosphor	0,0286 „ ($PO_4^{=}$) „ „	0,0858
0,18 g Chlor	0,0017 „ „ „	0,0017
		0,0875

Es müssen also noch 0,0005 OH-Ionen angenommen werden, im ganzen: 0,1159 Ionen pro Liter.

Das Pferdeblut ist mit 0,90% NaCl-Lösung isotonisch. Eine solche Lösung enthielte, wenn ganz dissociirt, $\frac{9}{58,5} \times 2 = 0,3072$ Ionen pro Liter.

Da nun nach dem oben Angeführten die Lösung in den Blutkörperchen dem Serum isotonisch sein muss, so ergibt sich, dass wir, wenn wir von der Voraussetzung ausgehen, dass das ganze rothe Blutkörperchen als Lösung zu betrachten sei, die Molenconcentration nur auf $\frac{1159}{3072} = 37\%$ der wirklichen berechnen; wir hatten

1) Nach der Formel: $\frac{1,32}{M_{(K_2O)}} \times 2 \times \frac{1000}{341}$. ($M_{(K_2O)} = 94,2$).

also, um den richtigen Wert zu erhalten, den als Lösung zu betrachtenden Theil der Körperchen auf 37 % des Körperchenvolums stellen müssen.

Die Uebereinstimmung mit den aus der Gefrierpunkterniedrigung berechneten 33—35 % ist eine sehr gute.

Wenn man das Hämoglobin (was nach Rollett aber unmöglich) als ganz gelöst betrachten wollte, ergäbe dies nur eine Vermehrung der Molenzahl mit 0,0024 oder 2,0 %, und auch in dem Falle käme man ohne Annahme eines nicht als Lösung vorhandenen Theils nicht aus.

Meine Auffassung verträgt sich also sehr gut mit der chemischen Zusammensetzung der rothen Blutkörperchen und lässt Raum, das Hämoglobin als nichtgelöst zu betrachten.

Bei der Trennung der Blutscheiben in zwei Theile, von denen nur der eine als Lösung zu betrachten ist, musste sich mir der Gedanke aufdringen an die morphologische Unterscheidung von Stroma (Oikoid) und Inhalt (Zooid).

Und da ich damals die Benennung Rollett's nur aus den Lehrbüchern kannte, und man bei Stroma natürlich an dasjenige denkt, worin etwas eingebettet ist, musste ich das Gelöste wohl mit Inhalt (Endosoma) identifiziren.

Rollett meint nun, dass die Salze im Stroma gelöst, das Hämoglobin im Endosoma fixirt stecke; da musste man also das Stroma als Lösung, das Endosoma als Nichtlösung sich denken.

Da man aber die Salze im Stroma nicht anzeigen kann und das Hämoglobin nur an veränderten Körperchen vom Stroma getrennt erscheint, könnte man sich gerade so gut denken, das Hämoglobin sei am Stroma gebunden, und erst wenn es sich (durch wenig Wasser, Ammoniumchlorid u. s. w.) davon getrennt hat, kommt es im Endosoma zu liegen. Die Salze seien im Endosoma gelöst. Hierbei müsste dann das quantitative Verhältniss von Stroma und Endosoma umgekehrt werden.

Etwas schwierig scheint es dabei, sich vorzustellen, dass die grossen Hämoglobinmolekeln unter Einfluss der Condensatorentladungen durch das Stroma hin nach aussen gelangen können, während die Salze zurückgehalten werden. Wir wissen aber schon, dass die Atomenzahl für die Permeabilität nicht massgebend ist; geht doch zum Beispiel das Ammoniumhippurat mit neun C-Atomen durch, während das Glykokoll mit zwei C-Atomen nicht passirt.

Zum Schluss muss ich noch eine Bemerkung machen über

Koeppe's Behauptung (dieses Arch. Bd. 107 S. 192), dass bei dem Centrifugiren keine Flüssigkeit aus den rothen Blutkörperchen ausgepresst werden kann, weil dem hohen osmotischen Druck gegenüber der durch die Centrifugalkraft verursachte verschwindet.

Erstens muss man bedenken, dass zwar — um aus den Scheiben Wasser auszupressen, wenn sie sich in reinem Wasser befinden (angenommen dies wäre möglich) — ein Druck von etwa sieben Atmosphären erforderlich wird, dass aber, um Wasser auszupressen, wenn an der anderen Seite der halbdurchlässigen Wand sich eine Lösung befindet, nur die Differenz der beiden osmotischen Drücke zur Ausbildung kommt, und da Blutkörperchen und Serum isotonisch, ist im Anfang nur eine verschwindend kleine Kraft erforderlich, welche wächst, in dem Maasse, wie sich durch den Wasseraustritt ein osmotischer Unterschied zwischen beiden Flüssigkeiten einstellt.

Zweitens ist der Druck, der sich beim Centrifugiren entwickelt, ein viel grösserer, als Koeppe meint, wie folgende Berechnung lehrt:

M A B
x dx

Sei M der Mittelpunkt des Kreises, A das centrale, B das periphere Ende der Flüssigkeitssäule im Hämokriten; sei $MA = a$ und $MB = b$; denken wir nun an beliebiger Stelle zwischen A und B eine ganz dünne Flüssigkeitsschicht, deren Querschnitt 1 qcm, deren Dicke dx und deren Distanz zu $M = x$.

Die Masse dieser Schicht ist dann $\frac{s}{g}\,dx$, wo s das specifische Gewicht die Flüssigkeit vorstellt.

Die Centrifugalkraft also nach der Formel $K = m\omega^2\zeta = \frac{s}{g}\,\omega^2 x dx$, wo ω die Winkelgeschwindigkeit bedeutet.

Es drücken aber auf jede Schicht auch alle central von ihr gelegenen Schichten; der Gesammtdruck in x wird somit

$$D = \int_a^x \frac{s}{g}\,\omega^2 x dx = \frac{s\omega^2}{2g}\,[x^2 - a^2].$$

Nun sind die Hämokritröhrchen von Gudendach 7 cm lang, und bei einem hinreichend stark gebauten Apparat wird das Ende doch gewiss noch 1 cm vom Mittelpunkte entfernt sein.

Der Apparat macht 5000 Touren pro Minute, also ist die Winkelgeschwindigkeit: $\frac{5000}{60} \times 2\pi = 166^2/_3\,\pi$.

Stellen wir zur Vereinfachung das specifische Gewicht der Flüssigkeit dem des Wassers gleich, so finden wir für den Druck am Ende des Röhrchens

$$D = \frac{(166\,{}^2/_3\,\pi)^2}{2 \times 981{,}2}\,[8^2 - 1^2] \text{ g pro qcm} = 8801{,}4 \text{ g pro qcm}$$

oder 8,517 Atmosphären.

In der Mitte

$$Dm = \frac{(166\,{}^2/_3\,\pi)^2}{2 \times 981{,}2}\,[4{,}5^2 - 1^2] \text{ g pro qcm} = 2688{,}8 \text{ g}$$

oder 2,602 Atmosphären.

Bei so grossen Differenzen dürfte Flüssigkeitsverdrängung wohl kaum ausgeschlossen sein.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Wien.)

Über die Flossenbewegung des Seepferdchens.

Von

Dr. M. Ishihara (Fukuoka, Japan).

(Mit 1 Textfigur.)

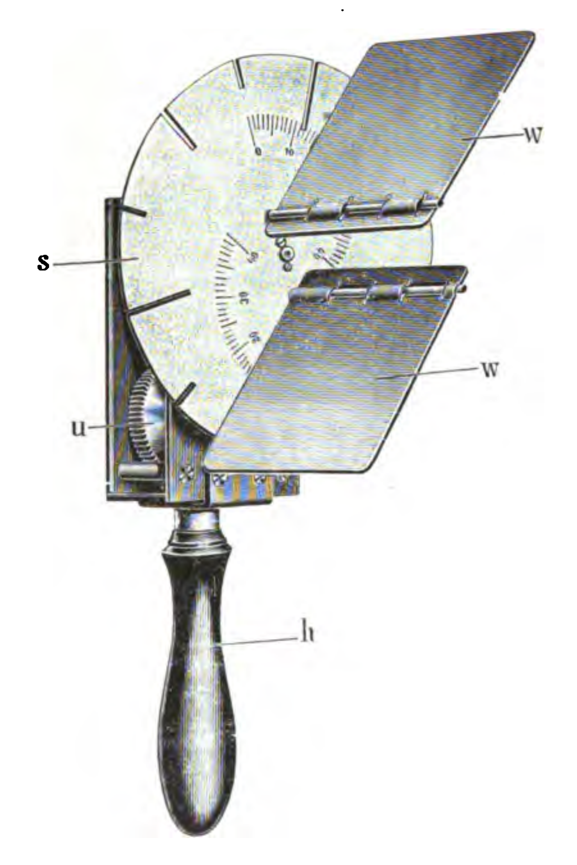
Ranvier schreibt: „La manière dont l'hippocampe progresse au moyen de sa nageoire dorsale a certainement frappé toutes les personnes qui ont observé ce petit animal dans un aquarium. Le mouvement de cette nageoire ne se fait pas en un seul temps, comme cela a lieu pour les nageoires de la plupart des autres poissons, mais par une série de vibrations. La disposition de l'appareil musculaire de cet organe rend parfaitement compte de ce singulier phénomène. La boîte osseuse qui contient les muscles de la nageoire est divisée en deux parties latérales par une cloison longitudinale formée par les arêtes de la nageoire. De chaque côté de cette cloison sont rangés de petits muscles coniques qui possèdent des tendons distincts." [1])

Rollett äussert sich über die eigentümliche Bewegung der Rückenflosse folgendermaassen: „Die Flosse bewegt sich bekanntlich nicht als Ganzes, wie bei anderen Fischen, sondern es laufen eine Reihe von Ausbiegungen nach beiden Seiten des Tieres wellenförmig mit grosser Geschwindigkeit über dieselbe ab. . . . Man muss annehmen, dass diese isolierten Muskeln (der Rückenflosse) nicht simultan, sondern successive in Tätigkeit geraten, woraus sich das Spiel der Flosse erklärt." [2]) Er wollte näher in das Studium der Eigenschaften dieser Flossenmuskeln (am Hippocampus antiquorum) eingehen. „Allein weder mit graphischen noch mit stroboskopischen Methoden liess sich etwas ausrichten; für die ersteren sind die Flossen

1) Archives de physiologie normale et pathologique t. 6 p. 16. 1874.
2) Arch. f. mikroskop. Anat. Bd. 32 S. 233.

zu zart; die letzteren scheitern, weil das Spiel der Flossen sofort aufhört, wenn man das im Wasser befindliche Tierchen, um es zu fixieren, anfasst.“ [1])

Bei einem Aufenthalt an der k. k. zoologischen Station in Triest im Monat April dieses Jahres habe ich mir auf Veranlassung meines hochverehrten Lehrers Herrn Professor Sigm. Exner die Aufgabe



gestellt, trotz der negativen Resultate von Rollett zu versuchen, wenigstens die Frequenz der Ruderschläge stroboskopisch festzustellen. Es wurde ein einfaches Handstroboskop (siehe obenstehende Figur) construiert, um dem frei schwimmenden Seepferdchen mit dem Blicke bequem folgen zu können.

Die stroboskopische Scheibe (*s*) dieses Apparates bestand aus Aluminium, hatte einen Durchmesser von 134 mm und war am

---

1) Arch. f. mikroskop. Anat. Bd. 32 S. 235.

Rand mit im ganzen zwölf radialen Ausschnitten von 1,5 mm Breite versehen. Drei derselben waren 25 mm lang, andere drei 16,6 mm und die übrigen sechs 8,3 mm, so dass man beim Blicken durch die rotierende Scheibe drei beinahe gleich breite, aber verschieden helle Zonen am Rande sieht. Blickt man durch die äusserste der Zonen, so gewahrt man das Object durch die zwölf in gleichem Abstande angebrachten Spalten; in der mittleren sieht man es durch sechs, in der innersten durch drei äquidistante Spalten. Die Scheibe wurde mittelst eines kleinen Uhrwerks (*u*) in Bewegung gesetzt, welches in einem Kasten untergebracht und mit einem Handgriff (*h*) versehen war. Zur feineren Regulierung der Geschwindigkeit diente ein Paar symmetrisch auf der Scheibe angebrachte Windflügel (*w*), die, um je einen Zapfen drehbar, in Stellungen von verschiedenem Wirkungsgrad gebracht werden konnten. Diese Stellungen waren an Gradteilungen, die in die Scheibe eingraviert sind, abzulesen und jederzeit wiederherzustellen. Das beobachtende Auge befindet sich auf der Seite des Uhrwerkes. Das Federuhrwerk gab keine ganz gleichmässige Rotation, doch genügte die Genauigkeit für die vorliegenden Aufgaben, wenn man darauf achtete, immer mit frisch aufgezogener Feder zu arbeiten. Die Umdrehungsgeschwindigkeiten der Scheibe bei den verschiedenen Stellungen der Windflügel wurden berechnet aus der Umdrehungsgeschwindigkeit eines genügend langsam laufenden Zahnrades des Uhrwerks und der bekannten Vergrösserung durch die Zahnradübertragungen.

Bekanntlich kann man die Periode einer regelmässig wiederkehrenden Bewegung bestimmen, indem man die schnellste Rotation des Stroboskopes aufsucht, bei welcher das Object, durch dasselbe gesehen, ruhend erscheint. Es ist dann die Frequenz der untersuchten Schwingungen $N = m \cdot k$, wenn die Zahl der Ausschnitte m und die Umdrehungszahl der Scheibe k per Secunde ist.

Um die Gebrauchsfähigkeit dieses Stroboskopes zu prüfen, beobachtete ich damit eine schwingende Stimmgabel von der Schwingungszahl 32 G.-S. Die Umdrehungszahl der Scheibe, bei der ich eben ein einfaches, scheinbar stillstehendes Bild der Zinke sah, nachdem ich die Geschwindigkeit allmählich verlangsamt hatte, betrug beim Blicken durch die innerste Zone des Stroboskopes 10,67 per Secunde und bei Benutzung der äussersten Zone 2,67 per Secunde. Somit sind die gefundenen Zahlen 32,01 resp. 32,04, welche recht genau der wirklichen entsprechen.

Das zu untersuchende Seepferdchen (Hippocampus guttulatus) wurde in ein kleines Aquarium gebracht und durch die rotierende Scheibe, und zwar durch die mittlere oder innerste Zone derselben, beobachtet. Gewöhnlich begann ich mit einer sehr schnellen Umdrehung des Stroboskopes, wo die Flosse sich noch lebhaft zu bewegen schien, und dann verlangsamte ich dieselbe allmählich, bis ich ein einfaches und stillstehendes Bild der Flosse erhielt. Blickte ich bei dieser Geschwindigkeit durch die nächst äussere Zone der Scheibe, so sah ich jedesmal ein ruhendes Doppelbild der Flosse, weil in dieser Zone die doppelte Anzahl von Ausschnitten vorhanden ist. Gewöhnlich musste ich mich begnügen, die Flosse nur eine oder wenige Secunden wirklich im scheinbaren Stillstande zu sehen, worauf sie langsame Bewegungen nach einer oder der anderen Richtung zu machen begann. Es beruhte dieses auf einer Inconstanz in der Schwingungszeit der Flosse. Denn es bewegt das Seepferdchen seine Flossen nicht immer gleich stark und gleich schnell, was man schon bei einer unmittelbaren Beobachtung sehen kann. Die beiden Brustflossen, die Rücken- und Analflosse bewegen sich auch nicht immer zugleich; man sieht manchmal, dass das Tier eine oder zwei derselben bewegt und die anderen ruhen lässt. Auch wird nicht immer die ganze Flosse bewegt, sondern oftmals nur ein Teil derselben, bei Bauchflosse und Rückenflosse der proximale. Auch dass individuelle Verschiedenheiten, betreffend die Schnelligkeit der Flossenbewegung, vorkommen, kann man oft schon ohne Weiteres sehen. Es hängt vielleicht mit der grösseren oder geringeren Frische der im Aquarium, also doch unter abnormen Verhältnissen, gehaltenen Tiere zusammen. In der Ruhe liegen die Brustflossen nach hinten dicht an der Seite des Körpers und die Rückenflosse nach dem Schwanz zusammengefaltet auf dem Rücken. Zuerst werden die Flossen aufgerichtet, und die Bewegung folgt. Meine stroboskopischen Beobachtungen erstreckten sich auf die typischen Flossenbewegungen, die dem unbewaffneten Auge nur ein ganz verwaschenes Bild der Flosse bieten, das aber doch auf recht bedeutende Ausschläge derselben schliessen lässt. Sie sind am besten bei dem raschen Nach-aufwärts-schwimmen des Tieres zu sehen. Hierbei bewegen sich die Rückenflosse und die beiden Brustflossen zugleich. Manchmal wurde das Tier durch einen um den Kopf oder Hals gewickelten dünnen Draht oder Faden aufgehängt, um die Beobachtung zu erleichtern, wobei der Schwanz frei sein muss, weil sonst das Tier ganz regungslos wird. Da machte

es manchmal schon von selbst starke, ziemlich lange dauernde Flossenbewegungen. Wenn das nicht der Fall war, so konnte ich dieselben in der Regel verursachen, wenn ich den Schwanz mit einem Stäbchen berührte und dann das letztere schnell entfernte. Diese reflectorische Flossenbewegung war qualitativ und quantitativ nicht anders als die normale, was ich durch mehrere Controllversuche sicherstellte.

Es zeigte sich, dass sich die Rückenflosse und die beiden Brustflossen mit gleicher Vibrationsdauer bewegen und die Schwingungszahlen für einen Hin- und Hergang 14,7—24,8 per Secunde sind. Wenn die Frequenz sich in einer Flosse ändert, so tut sie es in der Regel im demselben Maasse auch an den anderen, wie ich mich überzeugte, indem ich im Wasser nach aufwärts schwimmende Exemplare stroboskopisch beobachtete und feststellen konnte, dass, wenn die Rückenflosse stillzustehen scheint, das auch bei den Brustflossen der Fall ist. Von der Analflosse kann ich nicht dasselbe behaupten.

Die im Einzelnen erhaltenen Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Successive an Brust- und Rückenflossen wurden für die genannten Versuchstiere folgende Frequenzen per Secunde gefunden:

Nr. des Versuchstieres	Frequenz	Nr. des Versuchstieres	Frequenz
2	20	9	18,0
4	14,7	10	18,8
5	15,9	11	15,6
6	23,4	12	18,8
7	15,3	14	24,8
8	16,5		

Die Brustflossen allein habe ich beobachtet bei drei Tieren und gefunden:

Nr. des Versuchstieres	Frequenz
1	20
3	16
13	19,3

wobei bemerkt wird, dass ich nach einiger Zeit dieselben Tiere nochmals beobachtete und bei Nr. 1 die Zahl 16, bei Nr. 13 sowohl an der Brustflosse als an der Rückenflosse die Zahl 24 fand. Auch

beim Versuchstiere Nr. 8 fand ich einige Zeit nach der ersten Beobachtung die Frequenz an Brust und Rückenflosse von 16,5 auf 16 gesunken — alles Beispiele dafür, dass die Flossenbewegung auch unter anscheinend gleichen Verhältnissen bedeutenden Schwankungen unterliegt. Indem man Auge und Stroboskop in eine Entfernung von 0,5—1 m vom Tiere bringt, gelingt es leicht, die Bewegung der Rückenflosse und der Brustflossen zugleich zu überblicken. Unter diesen Umständen fand ich weiter folgende Zahlen.

Nr. des Versuchstieres	Frequenz
15	24,8
16	23,6
17	19,2
18	20,6

Als ich das Tier Nr. 18 vier Stunden später neuerdings untersuchte (es war unterdessen in gut ventiliertem Wasser gehalten), fand ich die Zahl 18,5 und nach einer weiteren Stunde die Zahl 24, während ich bei der nochmaligen Beobachtung des Tieres Nr. 17 nach sechs Stunden dieselbe Zahl 19,2 bekam. Aus den sämmtlichen Zahlen ergibt sich ein Mittel von 19,3.

Immer wieder stiegen mir Bedenken gegen die gefundenen Zahlen insofern auf, als bei der stroboskopischen Methode ein Irrtum um ein ganzes Vielfaches leicht möglich ist. Würde ja die Flosse auch dann unbewegt erscheinen, wenn die Spaltfrequenz nur die Hälfte der Vibrationsfrequenz betrüge, ebenso nur ein Drittel, usw. Ich habe oben schon angedeutet, wie ein solcher Fehler zu vermeiden ist, indem ich angab, die grösste Umdrehungsgeschwindigkeit des Stroboskopes, bei welcher das Object ruhend erscheint, als Maass benutzt zu haben. Trotzdem schien mir noch wünschenswert, die gefundenen Werte nach einer anderen Methode zu prüfen. Zu diesem Zweck wurde eine lange, schmale Glasplatte mit einem dünnen Niederschlag vom Chromgelb, welches in Seewasser aufgeschwemmt war, verwendet. Wenn man nämlich das als Malerfarbe in Gebrauch stehende Chromgelb in viel Wasser suspendiert, auf den Boden des verwendeten Gefässes eine Glasplatte legt und einige Stunden abwartet, so setzt sich der Farbstoff in sehr leicht anhaftender Lage an der Glasplatte fest, so dass man diese dann herausheben und wie eine berusste Platte verwenden kann. Eine solche wurde leise,

den Rand der Rückenflosse eines frei schwimmenden Seepferdchens berührend, mit der Hand in einer bestimmten Geschwindigkeit vorbeigezogen. Diese primitive Methode gelang mir nur zweimal. Die so gefundenen Zahlen waren ungefähr 16 per Secunde, erweisen also, dass ein grober Fehler bei der stroboskopischen Bestimmung nicht gemacht worden war.

Die stroboskopische Methode erlaubt nun natürlich auch, die Form und den Ablauf der Flossenbewegung recht befriedigend zu verfolgen. An der Rückenflosse erkennt man, was schon dem freiem Auge wahrscheinlich erscheint und Ranvier sowie Rollett auch angegeben haben, dass die Flossenstrahlen ihre seitlich gerichteten Schläge nicht gleichzeitig, sondern in regelmässiger Zeitfolge ausführen, so dass die Flosse eine wellenartige Bewegung macht. Man kann sagen, an der Kante der Rückenflosse laufen Wellen ab, und das Tier schwimmt durch dieselben nach dem Princip, nach welchem eine Schlange im Wasser schwimmt. Wie man mit dem Stroboskop sieht, sind circa zwei ganze Wellen in jedem Momente auf der Flosse vorhanden, die vom Kopfende gegen das Schwanzende ablaufen. Die Art dieser Bewegung kann recht gut beobachtet werden, wenn das Stroboskop in seiner Frequenz nur wenig von der der Flossenstrahlen abweicht; in diesem Falle sieht man die Bewegung in der geschilderten Weise bei etwas verlangsamtem Stroboskop, hingegen scheint die Welle nach dem Kopfende gerichtet bei Beschleunigung desselben. Auch die Brustflosse schlägt nicht als Ganzes, sondern wellenartig. Nur bildet dieselbe stets nur einen Anteil, und zwar ca. zwei Drittel, einer Welle. Diese läuft in gleichem Sinne ab wie an der Rückenflosse.

Hier sei noch bemerkt, dass das Seepferdchen bei seinem gewöhnlichen Hinauf- und Hinabschwimmen eine durchschnittliche Geschwindigkeit von ca. 4 cm per Secunde hat.

Zum Schluss erlaube ich mir, Herrn Prof. Sigmund Exner für seine Anregung und Ratschläge und den Herren Prof. Kreidl und Cori für ihre Unterstützung bei dieser Untersuchung meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Über den osmotischen Druck der Galle und des Blutes.

Zur Theorie der Sekretion und Resorption.

Von

J. Bernstein.

I. Einleitung und Theoretisches.

Bei den Sekretionen spielen die Filtration und Osmose unzweifelhaft eine wesentliche Rolle; doch hat sich bis jetzt noch nicht feststellen lassen, inwieweit sie allein zur Erklärung der Wasserabscheidung in den Sekreten ausreichen. Für die Speichelabsonderung ist es von Ludwig sicher bewiesen, dass die Filtration vermöge des Blutdrucks allein die Wasserabsonderung nicht unterhalten kann, da der Sekretionsdruck in den Speicheldrüsen bei Nervenreizung so sehr viel höher steigen kann als der gleichzeitig herrschende Blutdruck.

Ähnlich, wenn auch in geringerem Masse, scheint es sich mit der Absonderung der Galle zu verhalten, denn Heidenhain hat gefunden, dass der Sekretionsdruck in den Gallenwegen bis auf etwa 200 mm Wasser steigen kann, während der Blutdruck in der Pfortader nur 60—90 mm Wasser beträgt. Freilich bleibt es wohl noch fraglich, ob die Abscheidung der Gallenflüssigkeit durch die Kapillaren der Pfortader besorgt wird und die Bereitung der Galle überhaupt in den eigentlichen Leberzellen stattfindet, in denen man bisher überhaupt noch keine Spur von Gallenbestandteilen hat nachweisen können. Vielmehr könnte die Gallenabscheidung auch in den kleinsten Gallengängen vermittels deren Zellen vor sich gehen, welche von den Kapillaren der Leberarterie versorgt werden, in denen der Blutdruck wesentlich höher sein muss als in den Kapillaren der Leberläppchen [1]).

---

1) Ich will hiermit keineswegs diese Ansicht vertreten, doch glaube ich, dass man mit ihrer Möglichkeit rechnen müsste.

Wie dem aber auch sein mag, man muss sowohl bei der Speichel- wie auch bei der Gallenabsonderung auch an den osmotischen Druck als treibende Kraft denken. In beiden Fällen entstehen durch chemische Prozesse in den Drüsenzellen Substanzen, welche in dem Blute nicht präformiert sind. Es ist daher möglich, dass durch den Zerfall der Moleküle in den Drüsenzellen eine höhere molekulare Konzentration in denselben entsteht als in dem Blute und in der Parenchymflüssigkeit herrscht, und dadurch würde ein osmotischer Druck erzeugt werden, welcher neben der Filtration eine stärkere Wasserbewegung verursachen müsste. Nun bestehen freilich die Zerfallsprodukte der Drüsenzellen in den Sekreten meist aus organischen Substanzen, welche wegen ihrer geringeren molekularen Konzentration keinen hohen osmotischen Druck erzeugen, während bekanntlich der grösste Anteil des osmotischen Druckes in tierischen Flüssigkeiten und Zellen auf die Salzmoleküle und ihre Ionen kommt. Indes verstärkt immerhin die Gegenwart dieser organischen Substanzen in den Sekreten, insofern sie im Blute nicht vorkommen, die des Mucin und der Fermentsubstanzen, den osmotischen Druck derselben, und ausserdem treten auch in ihnen Substanzen auf, welche in Konstitution und elektrischer Leitfähigkeit den unorganischen Salzen ganz nahe stehen, wie das Rhodankalium im Speichel und die gallensauren Salze in der Galle. Dazu kommt aber noch, dass das Verhalten der sezernierenden Zellen gegenüber ihren spezifischen Sekretprodukten, welche im Blute nicht präformiert sind, ein sehr bemerkenswertes ist; denn man kann wohl mit einiger Bestimmtheit den Satz aussprechen: „Das Protoplasma der sezernierenden Zellen verhält sich den spezifischen Produkten derselben gegenüber wie eine semipermeable Membran."

Von den spezifischen Sekretbestandteilen, dem Mucin, den Verdauungsfermenten, den gallensauren Salzen, den Gallenfarbstoffen usw. werden keine merklichen Mengen unter normalen Verhältnissen in das Blut resorbiert. Dieselben müssen also einen osmotischen Druck hervorbringen, der mit wachsender Konzentration beständig zunimmt und daher Wasser aus dem Blute in die Sekrete befördern muss. Hierbei können wir voraussetzen, dass die Salze des Blutes im allgemeinen ungehindert in die Sekrete übergehen können, und dass daher die durch dieselben bewirkten osmotischen Drucke im Blute und den Sekreten sich gegenseitig aufheben.

Die Abscheidung der Sekrete an der sezernierenden Oberfläche

der Drüsenzellen kann hiernach nur dadurch zustande kommen, dass das Protoplasma daselbst zerfällt oder sich so verändert, dass es permeabel wird, während es sich in der Ruhe von dem Gewebe aus durch die Ernährung und durch Wachstum immer wieder regeneriert. Hiermit stehen die histologischen Beobachtungen über Veränderung der Drüsenzellen bei der Tätigkeit, Anfüllung mit Sekretbestandteilen, Entleerung derselben, Schrumpfung und Trübung des Protoplasmas, oder auch Auflösung der Zellen recht wohl in Übereinstimmung.

In fast allen sezernierenden Drüsen, den Speicheldrüsen, dem Pankreas und anderen Drüsen finden wir meist zwei Zonen der sezernierenden Zellen vor, eine Aussen- und eine Innenzone, die entweder aus besonderen Zellen oder aus Zonen ein und derselben Zelle bestehen. In den Schleimspeicheldrüsen bilden die Gianuzzi'schen Halbmonde die Aussenzone, die Schleimzellen (Zentralzellen) die Innenzone; im Pankreas gehören Aussen- und Innenzone derselben Zelle an, in den Laabdrüsen liegen aussen die Belegzellen, innen die Hauptzellen, und auch in allen Schleimzellen des Darmkanals unterscheidet man ja eine Mucin abscheidende Innenzone und eine mehr protoplasmatische, angewachsene Aussenzone. Die Zellen der gewundenen Harnkanälchen zeigen bekanntlich auch eine äussere Stäbchenzone und eine innere homogene Zone; doch soll die Harnabsonderung als Exkretion hier noch nicht mit in Betracht gezogen werden.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass in den genannten Drüsen die Aussenzone der Drüsenzellen zunächst das Rohmaterial aus dem Blute zur Bereitung der Sekrete in Empfang nimmt, und dass es dieses wohl schon chemisch verarbeitet an die Innenzone abgibt. Wenn nun durch weiteren chemischen Zerfall der abgegebenen Substanzen in der Innenzone der osmotische Druck steigt und man die Annahme macht, dass die protoplasmatische Aussenzone, welche die Membrana propria des Drüsenhohlraums bedeckt, für die spezifischen Sekretbestandteile impermeabel ist, während sie für die meisten Salze und ihre Ionen permeabel bleibt, so muss durch den entstehenden osmotischen Druckunterschied zwischen Blut (resp. Lymphe) und Innenzone ein Wasserstrom in die Drüse getrieben werden. In der Innenzone findet infolge des chemischen Prozesses ein Zerfall der protoplasmatischen Zellsubstanz statt, wodurch sie für die spezifischen Sekretbestandteile, die in ihr entstehen, permeabel wird und dieselben daher mitsamt dem Wasserstrom an den Drüsenhohlraum der Acini und Tubuli abgibt. Auch an solchen Drüsenzellen, an denen

man zwei solche Zonen mikroskopisch nicht direkt feststellen kann, darf man annehmen, dass die dem Sekret zugewendete Protoplasmaoberfläche eine andere Konstitution besitzt als die der Membrana propria zugewendete, und dass erstere für die spezifischen Sekretbestandteile permeabel, letztere aber impermeabel ist.

Wenn demnach bei der Sekretion der osmotische Druck in den Drüsenzellen durch Entstehung spezifischer Sekretbestandteile wächst, so würde dadurch nur so lange ein Wasserstrom aus dem Blute in die Drüse unterhalten werden können, bis der osmotische Druck in der Drüse p_s plus dem Blutdruck b in den Drüsenkapillaren dem osmotischen Drucke des Blutes p_b gleichgeworden ist, denn die beiden ersteren Kräfte fördern das Wasser in die Drüse, die letztere wirkt in der entgegengesetzten Richtung. Wir haben also im Falle des Gleichgewichtes die Bedingung:

$$p_s + b = p_b,$$

oder: $$p_s = p_b - b \text{ und } b = p_b - p_s.$$

Wenn über dieses Gleichgewicht hinaus die Wasserabscheidung noch weiter andauert, so würde daraus folgen, dass neben hydrostatischen und osmotischen noch andere Kräfte bei diesem Vorgange beteiligt sein müssen.

II. Litteratur.

Am leichtesten dürfte sich eine solche Untersuchung am Speichel oder der Galle ausführen lassen, da sich grössere Mengen dieser Flüssigkeiten sammeln lassen, um an ihnen mittels der Gefrierpunktbestimmung den osmotischen Druck zu berechnen. Angaben über die Gefrierpunkterniedrigung des Speichels und der Galle existierten nur vereinzelt in der Literatur, als ich meine Versuche im Jahre 1898 begann. Seitdem sind eine grössere Anzahl von Untersuchungen in diesem Gebiete gemacht worden, von denen ich aber nur einiges hierher Gehörige anzuführen brauche. Die Angaben über die Gefrierpunkterniedrigung des Blutes schwanken selbstverständlich innerhalb gewisser Grenzen, nicht bloss zwischen verschiedenen Tierspezies, sondern auch innerhalb derselben. Auch müssen diese Werte bei demselben Individuum je nach physiologischen Bedingungen gewisse Schwankungen zeigen. Im Mittel wird für menschliches Blut der Wert $\Delta = -0{,}56^{\circ}$ C. angegeben, für Rinderblut sind Werte von $-0{,}55$ bis $-0{,}647$ angegeben, für Schweineblut $-0{,}55$ bis

— 0,613° C.[1]) Für viele tierische Flüssigkeiten findet man Werte, welche von dem des Blutes nicht sehr differieren. Für die Galle des Menschen, welche in Fällen von Fisteln gesammelt wurde, fand Brand Werte von — 0,535 bis — 0,60 vor[2]). Er verglich ferner Blasengalle und Blut von Rindern und fand in drei Fällen für das Blut etwas grössere Werte vor, wie folgende Zahlen zeigen:

Nr.	Blasengalle	Blut
(4)	— 0,57	— 0,58
(5)	— 0,58	— 0,60
(7)	— 0,55	— 0,59

Brand bemerkt hierzu, dass, wenn die konzentriertere Blasengalle aus der Lebergalle entsteht, ohne Zunahme der Zahl gelöster Molekeln, eine physiologische (d. h. mit Blut isotonische) Salzlösung in Gallenblase und Gallenwegen resorbiert werden muss, dass aber eigentliche Gallenbestandteile nicht resorbiert werden. Daher enthält die Blasengalle gewöhnlich weniger unorganische Salze, insbesondere ClNa, als die Lebergalle. Brand kommt zu dem Resultat, dass die molekulare Konzentration der Fistel- und Blasengalle derjenigen des Blutes ziemlich gleich ist (l. c. S. 519).

III. Eigene Versuche.

Wenn die obige Betrachtung richtig ist, nach welcher $p_s = p_b - b$ sein würde, so würden allerdings die Gefrierpunkterniedrigungen des Blutes und der Galle wenn auch nicht gleich sein, aber doch wenig voneinander differieren, da 1° C. Gefrierpunkterniedrigung bekanntlich schon 12,07 Atmosphären Druck entsprechen. Betrüge also der Blutdruck b, um den es sich hier handelt, selbst 150 mm Hg, so würde die Differenz der Gefrierpunkte von Blut und Galle nur 0,016° C. zugunsten des Blutes betragen können.

In den angeführten Versuchen von Brand beträgt in dem Versuche (4) diese Differenz in der Tat nur 0,01° C. und in Versuch (5) 0,02° C., dagegen in Versuch (7) 0,04° C. In den beiden ersten

1) Siehe J. Brand, Beitrag zur Kenntnis der menschlichen Galle. Pflüger's Arch. Bd. 90 S. 506. 1902.

2) Ebendaselbst S. 507.

Versuchen würde der hierzu nötige Blutdruck *b* gleich 91,7 und 183,5 mm Hg, in dem dritten sogar gleich 366,9 mm Hg sein müssen. In meinen ersten Versuchen bediente ich mich auch wie Brand der Blasengalle und des Blutes von eben geschlachteten Tieren. Diese Versuche, welche schon vor mehreren Jahren angestellt worden sind, sind folgende:

Reihe I.

Versuch 1. 10. Februar 1898.

Frische Galle vom 9. Februar nachm. aus der Gallenblase des Rindes in verschlossener Flasche kalt aufbewahrt. Gefrierpunkterniedrigung $\Delta_g = -0{,}6775^\circ$ C.

Geschlagenes Schlachtblut desselben Tieres ebenso aufbewahrt. Gefrierpunkterniedrigung $\Delta_b = -0{,}7208^\circ$ C. Also $\Delta_b - \Delta_g = -0{,}0433^\circ$ C. 1° C. entsprechen 12,07 Atmosphären. $-0{,}0433^\circ$ C. entsprechen einer Druckdifferenz von 397,6 mm Hg.

Versuch 2. 13. Februar 1898.

Blasengalle vom Hund, am 12. Februar zu einem Versuch benutzt und getötet. $\Delta_g = -0{,}8272^\circ$ C.

Blut desselben Tieres $\Delta_b = -0{,}8764^\circ$ C. $\Delta_b - \Delta_g = -0{,}0492^\circ$ C. entsprechen 451,3 mm Hg.

Versuch 3. 8. März 1898.

Rindergalle vom 7. März, spezifisches Gewicht 1023. $\Delta_g = -0{,}5022^\circ$ C.

Blut desselben Tieres, spezifisches Gewicht 1050, $\Delta_b = -0{,}5366^\circ$ C. $\Delta_b - \Delta_g = -0{,}0344^\circ$ C. entsprechen 315,5 mm Hg.

Die Resultate dieser Versuche stehen noch weniger in Übereinstimmung mit obiger in der Formel ausgedrückten Annahme, dass osmotischer Druck plus Blutdruck ausreicht, um die Wasserabsonderung zu erklären, als die Versuche Brand's. In allen Fällen war der osmotische Druck des Blutes erheblich grösser als der der Galle, und es hätte eines sehr hohen Druckes bedurft, um die Wasserabsonderung zu bewirken, wie folgende Tabelle zeigt:

Tabelle I zu Reihe I.

Nr.	Tier	Δ_b −° C.	Δ_g −° C.	$\Delta_b - \Delta_g$ [1]	$p_b - p_g$ mm Hg	Bemerkungen
1	Rind	0,7208	0,6775	−0,0433	+ 397,6	Schlachtblut, Blasengalle
2	Hund	0,8764	0,8272	−0,0492	+ 451,3	" "
3	Rind	0,5366	0,5022	−0,0344	+ 315,5	" "

Δ_b Gefrierpunkterniedrigung des Blutes p_b Osmotischer Druck des Blutes
Δ_g " der Galle p_g " " der Galle.

1) Bei negativem Vorzeichen dieser Differenz ist der absolute Wert von $\Delta_b > \Delta_g$ und umgekehrt.

Es hätte also hiernach der Druck *b* in den Gefässen eine Höhe von 300 bis 450 mm Hg erreichen müssen, um den Vorgang auf rein osmotischem und hydrostatischem Wege zu erklären.

Indessen zeigt die weitere Überlegung, dass diese Schlussfolgerung nicht berechtigt ist, und dass die Bedingungen, unter denen die Messungen angestellt sind, einen Vergleich der osmotischen Drucke des Blutes und des Sekretes nicht zulassen. Es ist klar, dass die Galle, welche wir bei der Tötung eines Tieres in der Blase vorfinden, geraume Zeit vorher abgesondert worden ist, und dass das Blut zur Zeit der Absonderung eine merklich andere Beschaffenheit und Konzentration haben konnte als im Momente der Tötung.

Man kann wohl annehmen, dass die Galle sich zur Zeit der Fütterung in der Blase angesammelt hatte, dass in dieser Zeit die Konzentration des Blutes durch Wasseraufnahme zunächst abgenommen hatte, und dass dann bis zur Schlachtung dieselbe durch Verdunstung, Absonderung des Harnes und Resorption fester Stoffe wieder angestiegen war.

Es ergibt sich aus dieser Überlegung die Notwendigkeit, an lebenden Tieren die sich absondernde Lebergalle direkt mit dem Blute zu vergleichen, das während der Zeit der Absonderung durch die Leber geflossen ist oder wenigstens mit dem Blute, das in dieser Zeit im Körper zirkulierte, da ein sehr schneller Ausgleich der ganzen Blutmasse stattfindet. Am besten wäre es, das Pfortaderblut dazu zu verwenden, da dieses die Hauptmenge des der Leber zuströmenden Blutes liefert. Da indessen auch arterielles Blut der Leber zugeführt wird, so genügt es, auch anderes venöses oder arterielles Blut zu verwenden.

Von diesem Gesichtspunkte aus wurden die nachfolgenden Versuche angestellt. Eine Blutprobe wurde immer vor und eine nach der Sammlung der Lebergalle entzogen, und beide wurden zu gleichen Teilen gemischt untersucht, so dass man annehmen konnte, dass diese Mischung der mittleren Beschaffenheit des Blutes während der Absonderung entsprach; denn der Versuch dehnte sich über mehrere Stunden aus, da zur Anstellung einer genaueren Messung doch mindestens 10 ccm Galle erforderlich sind.

In einem Versuch wurde ein mit Morphium und Kurare narkotisierter Hund benutzt. Das Blut wurde einem Aste der Pfortader entnommen. Die Galle wurde durch eine Kanüle aus dem Ductus

choledochus nach Unterbindung des Ductus cysticus gewonnen. In einem zweiten Versuch wurde die Galle in einer mit dem Ductus choledochus verbundenen Gummiblase gesammelt, die Blutproben aber aus der Art. cruralis entnommen. Bei einem dritten Tiere wurde von Herrn Tschermak nach der Pawlow'schen Methode eine Gallenblasenfistel angelegt, welche gut heilte. Brachte man das Tier in eine Schwebe, so konnte man recht gut längere Zeit nach der letzten Fütterung eine ausreichende Menge Galle in einem Gummibeutelchen oder Fläschchen sammeln, das um den Leib gehängt war. Das Blut wurde aus der Ven. cruralis entnommen.

Reihe II.

(Ausgeführt unter Mitwirkung der Herren cand. med. J. Laible, R. Matzel und A. Mallwitz).

Versuch 1. 25. Januar 1902.

Hund, zu einem Speichelversuch benutzt, mit Morphium und Curare narkotisiert. 12 ccm Blasengalle um 12 h vorm. entleert.

a) 12 h 30′ vorm. 10 ccm Blut aus einem Ast der Pfortader unter Verschluss geschlagen und aufbewahrt.

b) 5 ccm Lebergalle aus dem Duct. choledoch. nach Unterbindung des Duct. cystic. von 12 h bis 3 h 30′ nachm. gewonnen.

c) 3 h 30′ nachm. 20 ccm Blut aus einem Ast der Pfortader wie oben behandelt.

1) 10 ccm Blut a) und 10 ccm Blut c) gemischt. $\Delta_b = -0{,}6044$.

2) Da 5 ccm Lebergalle zur Bestimmung des Gefrierpunktes nicht ausreichten, so wurden 5 ccm Lebergalle mit 5 ccm Blasengalle vermischt. $\Delta_g = -0{,}6142^\circ$ C. $\Delta_b - \Delta_g = +0{,}0098^\circ$ C. entsprechen $-89{,}90$ Hg.

Versuch 2. 2. Juni 1902.

Mittelgrosser Hund, abends vorher gefüttert, erhielt 600 ccm Milch. 11 h 30′ Curare, Ductus cysticus unterbunden und in den Ductus choledochus eine Kanüle mit einer Gummiblase eingeführt, Bauchhöhle geschlossen.

a) Blut I aus der Art. cruralis (30 ccm) $\Delta_{b_1} = -62{,}2 = -0{,}615^\circ$ C. Galle (nachm. 5 h) 10 ccm $\Delta_g = -64{,}3 = -0{,}636^\circ$ C. Blut II $\Delta_{b_2} = -61{,}3 = -0{,}606^\circ$ C. Mittel $\Delta_b = -61{,}75 = -0{,}611^\circ$ C. $\Delta_b - \Delta_g = -2{,}55 = +0{,}025^\circ$ C. $= -231{,}25$ mm Hg.

b) Am nächsten Tage nochmal gemessen: Blut I 153,0, Blut II 152,4, Mittel 152,7, Galle 151,2. $\Delta_b = -0{,}6337^\circ$ C., $\Delta_g = -0{,}6485^\circ$ C., $\Delta_b - \Delta_g = +0{,}0148^\circ$ C. $= -1{,}5 = -136{,}03$ mm Hg.

Versuch 3. 31. Juli 1902.

Hund mit einer Gallenblasenfistel, gut geheilt, 20 Stunden vorher gefüttert, gibt in der Schwebe von 4—6 h nachm. am 29. Juli 5 ½ ccm Galle, am 31. Juli von 4—6 h nachm. 6 ccm Galle. Um 6 h 45′ 15—20 ccm Blut aus der Vena

cruralis. $\Delta_g = 122 = -53{,}4 = -0{,}528^{\circ}$ C., $\Delta_b = 120{,}3 = -55{,}1 = -0{,}545^{\circ}$ C., $\Delta_b - \Delta_g = -1{,}7 = -0{,}017^{\circ}$ C. $= +154{,}17$ mm Hg.

Versuch 4. 19. März 1904.

Derselbe Hund mit Gallenblasenfistel. Dieselbe war zugeheilt und wurde wieder geöffnet. In der Schwebe wurde um 10 h vorm. Galle gesammelt. Bis 11 h 45′ flossen ca. 2 1/2 ccm Galle. 12 h Blut I aus einer Vena cruralis entnommen. Bis 7 h nachm. flossen ca. 8–9 ccm Galle. 7 h nachm. Blut II aus der Vena cruralis entnommen. $\Delta_g = 137{,}3 = -0{,}3549^{\circ}$ C. Blut I und II zu gleichen Teilen gemischt. $\Delta_b = 137{,}2 = -0{,}3559^{\circ}$ C. $\Delta_b - \Delta_g = -0{,}001 = +9{,}17$ mm Hg.

Versuch 5. 11. Mai 1904.

Derselbe Hund mit Gallenblasenfistel. 12 h 7 ccm Blut aus Ven. saph. entnommen. Galle von 12 h 45′ bis 4 h 15′ gesammelt, 6,8 ccm. 4 h 15′ bis 4 h 30′ ca. 7 ccm Blut aus Ven. saph.

$$\Delta_{b_1} = \frac{-0{,}603^{\circ}\text{ C.}}{-0{,}604^{\circ}\text{ C.}} = -0{,}6035^{\circ}\text{ C.,}$$

$$\Delta_g = \frac{-0{,}550^{\circ}\text{ C.,}}{-0{,}575^{\circ}\text{ C.,}}$$

$$\Delta_{b_2} = -0{,}600^{\circ}\text{ C.}$$

Nimmt man für Δ_g 0,575 als den höheren Wert für richtig an, so ist: $\Delta_b - \Delta_g = -0{,}0267^{\circ}$ C. $= +244{,}9$ mm Hg.

Versuch 6. 29. Juni 1904.

Derselbe Hund mit Gallenblasenfistel. Von 7 h 45′ bis 10 h 15′ 8,2 ccm Galle (mittelfarbig) gesammelt. Von 11 h bis 11 h 30′ 11 ccm Blut aus Ven. saph. Von 11 h 45′ bis 2 h 15′ 2,2 ccm Galle (dunkel) gesammelt.

$$\text{Galle gemischt: } \Delta_g = \frac{-0{,}573^{\circ}\text{ C.,}}{-0{,}563^{\circ}\text{ C.,}}$$

$$\text{Blut: } \Delta_b = \frac{-0{,}598^{\circ}\text{ C.,}}{-0{,}588^{\circ}\text{ C.}}$$

Nimmt man die höheren Werte als richtig an, so ist: $\Delta_b - \Delta_g = -0{,}025^{\circ}$ C. $= +229{,}3$ mm Hg.

Das Ergebnis dieser Versuche ist ebenso wie das der Reihe I in folgender Tab. II (S. 316) zusammengefasst.

Die Resultate dieser Versuche sind wesentlich andere als die der ersten Reihe. In den beiden ersten Fällen ist der osmotische Druck der Galle merklich grösser als der des Blutes. In dem dritten Falle ist der osmotische Druck des Blutes zwar grösser als der der Galle, aber die Differenz ist nicht grösser als der gewöhnliche arterielle Blutdruck beträgt. Im vierten Falle ist die Druckdifferenz eine sehr geringe zugunsten des Blutes. Im fünften und sechsten Falle übersteigt der osmotische Druck des Blutes den der Galle wiederum um eine den mittleren arteriellen Druck merklich über-

treffende Grösse, wenn auch nicht in dem Masse wie in den Versuchen der Tab. I. Obgleich wir nun einen so hohen Druck in den Leberkapillaren nicht annehmen können, auch wenn wir die Kapillaren der Leberarterie allein in Betracht ziehen würden, so gewinnt die Gleichung $p = p_b - b_g$ in diesem Falle doch an Wahrscheinlichkeit, wenn wir in Betracht ziehen, dass der osmotische Druck der Galle fast ebenso oft in denselben Grenzen grösser als der des Blutes gefunden wurde wie umgekehrt.

Tabelle II zu Reihe II.

Nr.	Tier	Δb — °C.	Δg — °C.	$\Delta b - \Delta g$ [1]	$p_b - p_g$ mm Hg.	Bemerkungen
1	Hund	0,6044	0,6142	+ 0,0098	— 89,90	Lebergalle aus Duct. chol. und Blasengalle. Pfortaderblut.
2	Hund a)	0,6110	0,6360	+ 0,0250	— 231,25	Lebergalle aus Duct. chol. Arterielles Blut.
	Hund b)	0,6337	0,6485	+ 0,0148	— 136,03	
3	Hund	0,5450	0,5280	— 0,0170	+ 154,17	Lebergalle aus Gallenblasenfistel. Venöses Blut (Ven. crur.).
4	Hund	0,3559	0,3549	— 0,001	+ 9,17	Lebergalle aus Gallenblasenfistel. Venöses Blut (Ven. crur,).
5	Hund	0,6017	0,575	— 0,0267	+ 244,9	Lebergalle aus Gallenblasenfistel. Venöses Blut (Ven. saph.).
6	Hund	0,598	0,573	— 0,025	+ 229,3	Ebenso.

Bezeichnungen wie in Tabelle I.

Solange der osmotische Druck der Galle grösser ist als der des Blutes wie in den beiden ersten Fällen, genügt der Vorgang der Osmose allein vollständig, um die Wasserabsonderung zu bewirken. Die Zuhilfenahme einer anderen Kraft ist absolut nicht erforderlich. Hierzu gesellt sich noch die Filtrationskraft von seiten des Blutes. Es scheint hiernach, dass der osmotische Druck der Galle und der Blutdruck meistens ausreichen, um die Abscheidung des Wassers zu erklären. Wenigstens war der hierzu nötige Blutdruck nicht viel grösser als der gewöhnliche arterielle Druck. Die Empfindlichkeit der Methode mit Hilfe der Gefrierpunktbestimmung ist indes nicht gross genug, um dieses Resultat endgültig festzustellen, da ein Teilstrich der Skala des Thermometers etwa $^1/_{100}$ ° C. schon 1,2 Atm. = 91,2 mm Hg bedeuten. Es bedarf daher jedenfalls einer empfindlicheren Methode zur Bestimmung des osmotischen Druckes, um

1) Bei positivem Vorzeichen dieser Differenz ist der absolute Wert von $\Delta g > \Delta b$ und umgekehrt.

solche Fragen mit Sicherheit zu entscheiden. Vor allem musste noch genauer, als es in den angestellten Versuchen geschehen konnte, die Bedingung erfüllt werden, dass nur dasjenige Blut mit dem Sekrete verglichen wird, welches zur Zeit der Absonderung der Drüse zuströmt.

IV. Betrachtungen über Sekretion und Resorption.

Die Bewegung des Wassers bei den Vorgängen der Sekretion und Resorption in den Organismen, Pflanzen wie Tiere, wird keineswegs in allen Fällen aus der Differenz des osmotischen und hydrostatischen Druckes erklärt werden können. Dies gilt im speziellen für die Harnsekretion und die Speichelsekretion. Für die Harnsekretion ist dies schon durch die Untersuchungen von Dreser[1]) und die von Tammann[2]) dargetan worden.

Was die Speichelsekretion anbetrifft, so müsste der osmotische Druck in den Drüsenzellen und ihrem Sekret bei Unterbindung des Ausführungsganges resp. seiner Verbindung mit einem Manometer um so viel höher werden als der Unterschied des Sekretionsdruckes und Blutdruckes beträgt. Dies ist von vornherein nicht sehr wahrscheinlich, aber schwer zu entscheiden. Man hat ferner auch an eine elektrische Triebkraft zur Beförderung des Sekretwassers gedacht, da man an allen Drüsen und sezernierenden Häuten Potentialdifferenzen zwischen der sezernierenden freien Oberfläche und der angewachsenen Fläche der Drüsenzellen feststellen kann. Eine solche Kraft ist auch in neuerer Zeit von Höber[3]) zur Erklärung der Resorptionsvorgänge in Anspruch genommen worden. Indessen ist bisher der Zusammenhang dieser elektrischen Eigenschaften mit den Diffusionen weder bei der Sekretion noch Resorption theoretisch befriedigend zu deuten.

Für die Resorptionen scheint mir die Annahme einer anderen Triebkraft als die der Diffusion und Osmose keineswegs so dringend erforderlich zu sein wie für die Sekretionen. Die Resorption des Wassers, der Salze und organischen Verdauungsprodukte unter den normalen Verhältnissen der Ernährung erklärt sich ja hinreichend aus den osmotischen Druckunterschieden zwischen Blut und Darminhalt. Wasserresorption muss stattfinden, solange der osmotische

1) Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 29 S. 303. 1892.
2) Zeitschr. f. physik. Chemie Bd. 20 S. 130. 1896.
3) Resorption und Kataphorese. Dieses Arch. Bd. 101 S. 67. 1904.

Druck im Blute höher ist als im Darminhalt; Salz-, Zucker- und Peptonresorptionen müssen stattfinden, solange der Salzdruck, der Zuckerdruck und der Peptondruck im Darm grösser sind als im Blute. Die Konstanz dieser Drucke im Blute, die sich für Pepton und Zucker der Grenze Null nähern und vermöge des Stoffwechsels aufrecht erhalten würden, und die im Vergleich zu den zu resorbierenden Darmflüssigkeiten verhältnismässig grosse Blutmasse, die sich in den Resorptionsorganen beständig erneuert, ist ein für den Vorgang sehr günstiger Umstand. Schon kleine osmotische Druckunterschiede zwischen Blut- und Darminhalt, die man durch die Gefrierpunktbestimmung keineswegs erkennen kann, würden imstande sein, in der Zeiteinheit erhebliche Resorptionen zu bewirken. Ich halte daher den immer angeführten Heidenhain'schen Versuch, bei welchem Serum desselben Tieres in einer Darmschlinge zur Resorption gelangt, keineswegs als beweisend für das Vorhandensein von besonderen sogenannten vitalen Resorptionskräften. Es erscheint mir nicht unwahrscheinlich, dass die Serumeiweisse in der Darmschlinge vermöge des restierenden Bauchspeichels und durch den Darmsaft in Peptone umgesetzt werden[1]) und dadurch zur Resorption gelangen. Es bleibt also wesentlich die dem Blute nahezu isotonische Salzlösung übrig. Eine wirkliche Isotonie kann aber in diesem Falle nicht bestehen bleiben, denn während des Versuches scheidet das Tier durch Haut, Athmung und Harn[2]) beständig Wasser aus, und der osmotische Druck des Blutes muss daher steigen. Es wird demnach Wasser resorbiert, bis der Ausgleich wieder eingetreten ist. Aber auch dieses Gleichgewicht kann leicht gestört werden, wenn man bedenkt, dass dem isolierten Darminhalt das strömende Blut innerhalb eines komplizierten organischen Apparates gegenübersteht, dessen Zustand durch den Stoffwechsel in einem beständigen Wechsel erhalten wird. Man braucht nur einen periodischen Wechsel in der Ausscheidung von Wasser und von festen Stoffen, besonders Salzen durch Haut, Lungen, Drüsen und andere Gewebe, ganz abgesehen von den Nieren, aus dem Blut anzunehmen,

---

1) Von einem absoluten Reinigen der Darmschlingen kann doch keine Rede sein, so dass immer Reste von Trypsin vorhanden sein werden. An einer Thiry-Vella'schen Darmfistel ist meines Wissens der Versuch noch nicht gemacht worden.

2) Heidenhain hat allerdings die Nierensekretion durch Unterbindung der Ureteren ausgeschlossen. Doch genügen in diesem Falle Haut und Lunge.

um zu erklären, dass dasselbe periodisch mal Wasser aufnimmt, und dann wieder Salze, solange bis der ganze Darminhalt verschwunden ist.

Es kann dieser Vorgang innerhalb so geringer Schwankungen des osmotischen Druckes periodisch erfolgen, dass wir nicht imstande sein würden, diese Unterschiede mit der Gefriermethode nachzuweisen. Die Salzlösung des Serums in der Darmschlinge würde also periodisch gegen das Blut mal hypotonisch, mal hypertonisch werden und in der einen Periode Wasser, in der anderen Salzmoleküle, an das Blut abgeben.

Beifolgendes Schema diene zur Erläuterung:

Periode	Darmhöhle Serum		Blutgefässsystem Blut	Körper
1	hypotonisch	⟶ *w* *s* ←	hypertonisch	Wasserverdunstung
2	hypertonisch	⟶ *s* *w* ←	hypotonisch	Ausscheidung v. Salzen
3	hypotonisch	⟶ *w* *s* ←	hypertonisch	Wasserverdunstung
⋮	⋮		⋮	⋮

In der ersten Periode tritt Wasser *w* aus dem Serum in das Blut, da durch Wasserverdunstung das Blut hypertonisch wird, und das eingeführte ursprünglich isotonische Serum hypotonisch geworden ist. Dies geschieht so schnell, dass nur wenig Salz *s* in den Darm übertritt. Nach einem kurzen Moment der Isotonie wird in Periode 2 infolge von Salzausscheidungen das Blut hypotonisch, das Serum also hypertonisch, und dieses gibt so schnell Salz *s* an das Blut ab, dass dagegen nur wenig Wasser *w* in den Darm geht. Nach einem kurzen Moment der Isotonie wiederholt sich in der Periode 3 dasselbe wie in der Periode 1 usw. Man müsste freilich noch hinzufügen, dass cet. par. die Diffusion vom Darm ins Blut schneller vor sich geht als umgekehrt, wie die grossen und kleinen Pfeile angeben. Hamburger[1]) hat eine ansaugende Wirkung des Blutstroms angenommen, doch sind meines Erachtens auch unorganische Membranen mit irreziproken Diffusionswiderständen denkbar. Nimmt man z. B. an, dass die Poren einer Membran sich nach der einen Seite trichterförmig verengen, so dass der Reibungs-

1) Osmotischer Druck usw. Bd. 2 S. 108.

widerstand gegen die diffundierenden Moleküle nach der einen Richtung wächst, nach der andern abnimmt, so würde dadurch wohl eine irreziproke Diffusionsgeschwindigkeit folgen müssen.

Noch einfacher würde es sich mit hypertonischen und hypotonischen ClNa-Lösungen verhalten, deren vollständige Resorptionen man innerhalb gewisser Konzentrationsgrenzen beobachtet. Aus einer hypotonischen ClNa-Lösung wird zunächst Wasser resorbiert. Hat die Lösung die ClNa-Konzentration des Blutes erreicht, so muss die Wasserresorption fortdauern, da die Lösung immer noch geringeren osmotischen Druck hat als das Blut; es muss sich daher zu derselben auch eine weitere Diffusion der ClNa-Moleküle hinzugesellen, und in diesem Grenzzustande wird die hypotonische ClNa-Lösung bis auf den letzten Rest ohne weiteres resorbiert werden können. Der mit dem Blute isotonische Zustand der Lösung kann daher nie erreicht werden, da in diesem die ClNa-Konzentration in der Lösung sehr viel grösser sein würde als im Blute (etwa 0,8 %). Es wird also ein stationärer Zustand der Resorption eintreten, in welchem der ClNa-Gehalt der Lösung gegen den des Blutes nur um differentiale Grösse schwankt. Ist die Lösung aber eine hypertonische gewesen, so verwandelt sie sich sehr schnell in eine von gleichem ClNa-Gehalt mit dem Blute, und diese verhält sich dann ebenso wie die ursprünglich hypotonische. Selbstverständlich muss bei allen diesen Vorgängen die Permeabilität der resorbierenden Membran eine grosse Rolle spielen, und diese Membran wird im Darm vornehmlich von den Epithelzellen der Schleimhaut gebildet. Es darf daher nicht wundernehmen, dass sich diese Vorgänge wesentlich ändern, sobald diese Zellschicht abgestreift oder verletzt oder durch FlNa abgetödtet ist[1]). Da wir nun aber wissen, dass auch unorganische Membranen eine auswählende Permeabilität besitzen, so haben wir keinen Grund, in den lebenden Zellen Kräfte besonderer Art vorauszusetzen, welche die Resorption besorgen sollen. Gleichwie Membranen von Ferrocyankupfer Zuckermoleküle und gewisse Ionen, Cu^{++} oder SO_4^{--}, nicht durchlassen, so lassen die Plasmamembranen der Pflanzenzellen die Zuckermoleküle, der der Epithelzellen der Glomeruli und Tubuli der Niere die Eiweissmoleküle nicht hindurchtreten. Chemische Veränderungen im Plasma dieser Zellen müssen aber nicht nur die auswählende Permeabilität, sondern auch die

1) O. Cohnheim, Über die Resorption im Dünndarm und in der Bauchhöhle. Zeitschr. f. Biol. Bd. 37 S. 443. 1899.

Diffusionsgeschwindigkeiten der Moleküle und Ionen des Wassers und der gelösten Stoffe ändern.

Also in der Änderung der Permeabilität kann zum grossen Teil derjenige Einfluss liegen, den man als „vitalen" zu bezeichnen pflegt. Betrachtet man aber diese Änderungen des Plasmas selbst als physikochemische, so liegt kein Anlass zur Annahme besonderer sogen. vitaler Kräfte vor.

Ist die Schicht der Darmepithelien abgestreift, so stehen die interstitiellen Lymphräume der Schleimhaut samt Zotten offen mit dem Darminhalt in Berührung, die spezifische Diffusionsmembran fehlt, und es bleiben nur noch die Kapillarmembranen als Diaphragmen gegen das Blut übrig, die aber, wie wir wissen, Eiweissmoleküle durchlassen. Die Lymphe ergiesst sich dann frei in das Darmlumen vermöge des Filtrationsdruckes, unter dem sie aus den Kapillaren abgesondert wird, anstatt sich in den Chylusgefässen zu sammeln. Dieser beständige Lymphstrom aus den Kapillaren durch die interstitiellen Gewebsspalten in die Lymphgefässe, durch welchen die resorbierten Fetttröpfchen fortgeschwemmt werden, ist sicherlich von grosser Bedeutung für die Mechanik der Resorption überhaupt. Kein Wunder, dass die Resorption gestört ist, wenn es fehlt, nachdem die spezifische Diffusionsmembran fortgenommen ist. Ähnlich wird es sich verhalten, wenn die spezifische Permeabilität der Epithelschicht durch FlNa geschwächt oder aufgehoben ist.

Im Anschluss an die oben ausgesprochene Ansicht über die Aufgabe der beiden Zonen in den Sekretionszellen sei noch bemerkt, dass wir ja auch an den Resorptionszellen des Darmes zwei Zonen unterscheiden, den gestreiften Cuticularsaum an der freien Oberfläche gegenüber den übrigen Protoplasma. Es ist aber möglich, dass diese Differenzierung hier nur für die Fettresorption von Bedeutung ist, seitdem wir nach Pflüger wissen, dass die Fette in ihren Spaltungsprodukten als Seifen und Glyzerin durch den Cuticularsaum treten und sich im Plasma der Zellen restituieren. Der für die Fetttröpfchen impermeable Saum würde dann die Aufgabe haben, ihre Rückkehr in den Darm zu verhindern.

Will man nun trotzdem, wie für die Sekretionen, auch für die Resorptionen elektrische Triebkräfte mit zu Hilfe nehmen, so hat man meines Erachtens zu bedenken, dass man für die Sekretionszellen und Resorptionszellen entgegengesetzte Potentialdifferenzen voraussetzen müsste. Wir kennen aber bis jetzt nur eine einsinnige

Potentialdifferenz an mit Drüsen ausgestatteten Häuten, der äusseren Haut und Darmschleimhaut, deren Ursache man in die Drüsen und ihre Zellen verlegt hat. Die freie sezernierende Oberfläche dieser Häute ist bekanntlich negativ gegen die angewachsene Fläche, Dieses Verhalten hat sich auch an isolierten zusammengesetzten Drüsen, den Speicheldrüsen, bestätigt[1]). Man ist daher berechtigt, diese Potentialdifferenz den Sekretionszellen zuzuschreiben. Die genannten Häute, insbesondere die Darmschleimhaut, besitzen aber ausserdem auf ihrer Oberfläche auch Resorptionszellen, die im Darm mit den Sekretionszellen sicher nicht identisch sind. Die Potentialdifferenzen der Sekretionszellen kann man sowohl nach der Hermann'schen Alterationstheorie als auch nach der Membrantheorie[2]) dahin deuten, dass an der sezernierenden freien Oberfläche der Zellen eine Zustandsänderung des Plasmas eintritt. Die sezernierende Zone der Zellen könnte auch für gewisse negative Ionen (Anionen) permeabler werden, für welche die andere dem Gewebe zugewendete Zone der Zelle impermeabel ist. Für die Resorptionszellen müssten wir dann das entgegengesetzte Verhalten annehmen, wenn wir ihnen elektrische Potentialdifferenzen zuerteilen. Die freie resorbierende Fläche müsste positiv, ihre angewachsene Seite dagegen negativ sein; die erstere müsste nach der Membrantheorie für gewisse Anionen impermeabel, die letztere permeabel sein. Diese Annahme würde mit der Fähigkeit der Resorption so vieler Elektrolyte etwas schwer zu vereinen sein; doch möchte ich es nicht für ausgeschlossen ansehen, dass ein solches Verhalten existiert, und dass demnach zu den osmotischen Kräften auch bei der Resorption elektrische Triebkräfte zur Bewegung des Wassers hinzutreten. Indessen ist bisher das Verhalten der Potentialdifferenzen zu den Sekretionen resp. Resorption bei der Ruhe und Reizung der Organe viel zu wenig aufgeklärt, als dass man imstande wäre, die Wasserbewegung bei der Sekretion, geschweige denn bei der Resorption, auf elektrische Triebkräfte zurückzuführen. Es erscheint bis jetzt noch viel plausibler, die Potentialdifferenzen als die Folgen osmotischer Prozesse anzusehen, wie umgekehrt.

---

1) Bradford, Journ. of Physiol. vol. 8 p. 86. 1887.

2) J. Bernstein, Untersuchungen zur Thermodynamik der bioelektrischen Ströme. Dieses Archiv Bd. 92 S. 542. 1902.

Zur Theorie der Muskelkontraktion.

Kann die Muskelkraft durch osmotischen Druck oder Quellungsdruck erzeugt werden?

Von

J. Bernstein.

(Mit 1 Textfigur.)

I.

Mancherlei Bewegungsvorgänge und Formveränderungen bei den Pflanzen beruhen, wie man annimmt, zum grossen Teile auf osmotischen Prozessen. Der Turgor der Pflanzenzelle wird nach Pfeffer auf den osmotischen Druck ihres Inhaltes zurückgeführt. Die Aufsaugung des Wassers in der Pflanze muss daher vornehmlich auf Osmose beruhen, und die durch den Turgor bewirkte Aufrichtung der Pflanzenteile ist also eine durch osmotischen Druck hervorgebrachte Bewegung. Unzweifelhaft ist auch der osmotische Druck der tierischen Zelle ein wichtiger Faktor bei der Erhaltung ihres Turgors, da man ihren Protoplasten, ebenso wie den der Pflanzenzellen, als eine für viele Stoffe semipermeable Membran erkannt hat.

Aus diesen Gründen liegt es nahe, sich die Frage vorzulegen, ob die Kontraktionskraft des Muskels sich vielleicht auf einen bei der Reizung desselben entstehenden stärkeren osmotischen Druck in gewissen Elementen der Muskelfaser zurückführen lasse. Die Entscheidung derselben ist deshalb von Bedeutung, weil, wenn sich ein negatives Resultat ergibt, andere zur Erklärung der Kontraktion aufgestellte Theorien an Wahrscheinlichkeit dadurch gewinnen würden. Ich habe bei der Veröffentlichung der von mir aufgestellten Oberflächenspannungstheorie[1]) der Kontraktion eine solche Möglichkeit nicht erwähnt, weil sie bis dahin meines Wissens von niemandem ausgesprochen war. Indessen war eine Vorstellung

---

1) Die Energie des Muskels als Oberflächenenergie. Dieses Archiv Bd. 85 S. 271. 1901.

ähnlicher Art gelegentlich von Reuleaux[1]) in sinnreicher Form gegeben worden. Er verglich die Muskelfaser mit einem mit Flüssigkeit gefüllten Schlauch, der auch in mehrere blasenförmige Querstücke zerfallen kann, und dachte sich, dass durch einen inneren Prozess bei der Reizung Flüssigkeit in diese Blasen eingetrieben werde. Es würden sich dann die durch ein Gewicht gedehnten länglichen Blasen zu Kugeln abzurunden suchen und der ganze Schlauch würde sich verkürzen. Ein Modell dieser Art hat Reuleaux angegeben und abgebildet.

Eine ähnliche Vorstellung ist von W. M'Dongall[2]) ausgesprochen worden. Er denkt sich nach Bütschli die Substanz der Fibrillen mit kleinen wabenartigen Hohlräumen erfüllt, welche Flüssigkeit enthalten und sich bei der Kontraktion durch Wachsen des osmotischen Druckes stärker mit Flüssigkeit anfüllen, welche aus dem Sarkoplasma resp. der Parenchymflüssigkeit hineindiffundiert. Haben diese Hohlräume, besonders im gedehnten Muskel, eine längliche Form, so würden sie sich bei der Reizung zu einer Kugel abzurunden suchen und sich unter Zunahme ihrer Dicke verkürzen. Die von Reuleaux angenommene Kraft würde also in diesen Fällen osmotischer Druck sein und die von Reuleaux ersonnene Mechanik könnte in Aktion treten.

Diese Theorie erfüllt zwar die bekannte Forderung, dass das Volumen des Muskels bei der Kontraktion konstant bleibt, aber man kann schon gegen ihre Mechanik den Einwand erheben, dass die Verkürzung der Hohlräume durch ein Maximum in Verlängerung übergehen müsse, wenn die eintretende Flüssigkeitsmenge weiter zunimmt. Letztere hat freilich eine Grenze in dem im Gewebe vorhandenen Vorrat. Zu ihrer Stütze könnte man sogar die Engelmann'sche Beobachtung anführen, dass die anisotropen Scheiben auf Kosten der isotropen der Fibrille an Volumen bei der Verkürzung zunehmen, unter der Annahme, dass dieser Vorgang auf Osmose beruhe.

In der Tat muss durch den chemischen Prozess bei der Kontraktion der osmotische Druck sich erhöhen. Es entstehen durch

1) Die praktischen Beziehungen der Kinematik zu Geometrie und Mechanik S. 772 u. ff. Braunschweig 1900.

2) A theory of muscular contraction. Journ. of Anatom. and Physiol. vol. 32 p. 187. 1898.

Spaltung und Oxydation aus komplizierten organischen Molekülen eine grössere Zahl einfacher Moleküle, so dass die molekulare Konzentration und damit der osmotische Druck im Muskel dementsprechend ansteigt. Bei der Erschlaffung kann durch Diffusion eine Abgabe der entstandenen Moleküle aus den kontraktilen Elementen der Faser an die indifferenten Elemente stattfinden. Aus der Muskelchemie wissen wir, dass nach übereinstimmenden Untersuchungen von Voit und neueren von Zuntz die N-losen Nährstoffe zur Erzeugung der Muskelarbeit unter normalen Bedingungen (bei Ausschluss von Überanstrengungen) vollständig ausreichen, und dass dabei ein Mehrverbrauch von Eiweiss gegenüber der Muskelruhe nicht stattfindet. Als direktes Brennmaterial der Muskelmaschine sind bis jetzt nur die Kohlehydrate nachgewiesen, also das Glykogen resp. der daraus gebildete Zucker. Wenn auch von Pflüger gezeigt worden ist, dass bei fast ausschliesslicher Eiweissnahrung (mageres Fleisch) erhebliche Muskelleistungen stattfinden können, so ist doch zu vermuten, dass unter dieser Bedingung die Leber aus dem Eiweiss das zur Unterhaltung der Muskelarbeit nötige Glykogen bereitet. Ähnlich dürfte es sich mit dem Fett der Nahrung bei Ausschluss von Kohlehydraten verhalten. Doch möge dem sein wie ihm wolle, wir werden erst eine Berechnung aufstellen unter der wahrscheinlichsten Annahme, dass der Zucker (Dextrose) das Brennmaterial des Muskels bildet, und dann diese Berechnung auch auf das Fett und das Eiweiss ausdehnen.

Das Prinzip der Berechnung ist folgendes. Wir denken uns einen Kubikzentimeter Muskel aus parallelen Fasern von 1 cm Länge und 1 qcm Querschnitt. Bei einer isometrischen Zuckung (Muskel festgespannt), deren Kraft gemessen wird, mögen n g Moleküle Zucker verbrannt werden. Wir wollen annehmen, dass die Verbrennung von $C_6H_{12}O_6$ eine vollständige zu $6\ CO_2 + 6\ H_2O$ sei, und dass keine teilweise Spaltung in Milchsäure ($C_3H_6O_3$) eintrete, wobei der osmotische Druck kleiner ausfallen würde. Es vermehrt sich daher die Zahl der Moleküle im Verhältnis von 1 : 12. Von diesen müssen wir aber die Wassermoleküle abrechnen, da sie den osmotischen Druck nicht erhöhen, sondern im Gegenteil vermindern, was wir aber getrost vernachlässigen können in Anbetracht der sehr kleinen dabei entstehenden Wassermenge. Unter dieser Voraussetzung vermehrt sich die Zahl der Moleküle nur im Verhältnis von 1 : 6, und die Steigerung des osmotischen Druckes bei der Kontraktion entsteht

demnach durch Bildung von 6 *n* g Mol. an Stelle von *n* g Mol. oder ist proportional der Zahl von 5 *n* g Mol., die wir uns zunächst in 1 ccm verteilt denken wollen. Man könnte aber auch zweitens annehmen, dass 6 CO_3H_2 entstehen, welche in die Ionen 6 CO_3 + 12 H dissoziieren. Für diesen Fall würde für die Zahl 5 die Zahl 18 — 1 = 17 zu setzen sein, und die Steigerung des osmotischen Druckes bei der Kontraktion würde von 17 *n* g Mol. (Ionen) abhängen. Der Wert dieses osmotischen Druckes in 1 ccm Muskel lässt sich nach bekannten Daten der physikalischen Chemie leicht berechnen.

Nach A. Fick (Gesammelte Abhandlungen S. 131) erzeugt 1 g Froschmuskel bei einer energischen Zuckung gegen grossen Widerstand (isometrisch) eine Wärmemenge von 3 mg Kal. Nimmt man die Verbrennungswärme des Zuckers zu 3277 g Kal. auf 1 g an, so entstehen 3 mg Kal. aus $\frac{3}{3277 \cdot 10^3}$ g Zucker. Das spezifische Gewicht des Muskels zu 1,06 angenommen und das Mol. des Zuckers = 180 g gesetzt, so werden in 1 ccm Muskel $n = \frac{3 \cdot 1{,}06}{180 \cdot 3277 \cdot 10^3}$ g Mol. Zucker verbraucht.

1 g Mol. in 1 ccm Flüssigkeit gelöst erzeugt bekanntlich einen osmotischen Druck[1]) von 49,3 · 34200 · 13,59 g auf 1 qcm.

Wenn nun in einem Muskel aus *n* g Mol. Zucker 5 *n* g Mol. entstehen, so ist der dadurch erzeugte osmotische Druck

$$p = \frac{5 \cdot 3 \cdot 1{,}06 \cdot 49{,}3 \cdot 34200 \cdot 13{,}59}{180 \cdot 3277 \cdot 10^3} = 0{,}62 \text{ g}.$$

Oder wenn aus *n* g Mol. Zucker 17 *n* g Mol. entstehen, so ist $p = 2{,}14$ g.

Vergleicht man mit diesem Druckwerte die Muskelkraft für 1 qcm Muskel (absolute Muskelkraft), so ergibt sich, dass erstere gegen letztere ausserordentlich gering ist. Die absolute Muskelkraft im Tetanus kann man für den Froschmuskel zu etwa 3000 g annehmen, die Kraft einer isometrischen Zuckung daher mindestens zu 600 g. Es fragt sich daher, ob irgendeine Mechanik im Muskel denkbar ist, vermöge deren so kleine osmotische Druckwerte so sehr viel grössere mechanische Spannungen zu erzeugen imstande sind.

---

1) 49,3 cm Hg Druck ist der osmotische Druck einer 1 %igen Rohrzuckerlösung bei 18° C., 342 ist das Molekulargewicht des Rohrzuckers und 13,59 das spez. Gewicht des Hg.

Führen wir noch dieselbe Berechnung unter der Annahme aus, dass statt des Zuckers bei der Kontraktion Fett oder Eiweiss verbrannt wird, so ergeben sich folgende Resultate.

Für Fett erhalten wir den Wert

$$p = \frac{171 \cdot 3 \cdot 1{,}06 \cdot 49{,}3 \cdot 34\,200 \cdot 13{,}59}{890 \cdot 9069 \cdot 10^3} = 1{,}57 \text{ g}$$ [1]).

Für Eiweiss erhalten wir nach der von Hofmeister[2]) angegebenen chemischen Formel:

$$p = \frac{1484 \cdot 3 \cdot 1{,}06 \cdot 49{,}3 \cdot 34\,200 \cdot 13{,}59}{10\,166 \cdot 4998 \cdot 10^3} = 2{,}13 \text{ g.}$$

Also auch für diesen Fall ist der osmotische Druck sehr viel kleiner als die entsprechende Muskelkraft, für das Fett als Kraftquelle kleiner, für das Eiweiss etwa ebenso gross als für den Zucker.

Man müsste nun allerdings diesen Wert des osmotischen Druckes noch etwas vergrössern, wenn man berücksichtigt, dass die kontraktilen Elemente nur einen Teil der ganzen Muskelmasse bilden, und dass demnach nur in diesem Teil der osmotische Druck wachsen würde, während der übrige Teil das Wasser hergeben würde, welches diesem Drucke folgt. Nun muss man aber unbedingt mindestens die gesamte doppelbrechende Substanz als die kontraktile ansehen, und da diese ungefähr $^1/_3 - {}^1/_2$ der ganzen Muskelmasse ausfüllt, so würden wir, wenn wir den Raum eines Kubikzentimeter Muskel auf $^1/_3$—$^1/_2$ beschränken, in diesem doch nur den doppelten bis dreifachen der gefundenen Werte für den osmotischen Druck bei der Kontraktion erhalten, — Werte, welche immer noch weit unterhalb der Muskelkraft liegen.

II.

Nach Anstellung dieser Rechnungen haben wir nun zu überlegen, ob irgendeine in der Muskelfaser mögliche Mechanik denkbar ist, durch welche so kleine osmotische Kräfte sich zu einer viel grösseren Kraft summmieren könnten. Nehmen wir die osmotische Kraft in maximo zu

---

1) Molekulargewicht des Stearin ($C_{57}H_{110}O_6$) = 890, Verbrennungswärme desselben = 9069, Zahl der aus 1 Mol. entstehenden Moleküle CO_2 = 57 und Ionen CO_3, 2H = 171.

2) Siehe Cohnheim, Chemie der Eiweisskörper S. 18.

Molekulargewicht des Eiweisses ($C_{450}H_{720}N_{116}S_6O_{140}$) = 10 166. Verbrennungswärme = 4998. Zahl der entstehenden Moleküle und Ionen, wenn aller C zu CO_2 und aller N zu NH_3 verwendet wird, = 1484.

3 × 2,14, rund zu 6 g und die Muskelkraft rund zu 600 g an, so müsste dabei eine Steigerung der Kraft um das Hundertfache eintreten.

Zuerst wollen wir den Fall in Betracht ziehen, dass in der kontraktilen Substanz sich kleine längliche, mit flüssiger (resp. zähflüssiger) Masse gefüllte Hohlräume befinden, welche von elastischen Wänden begrenzt sind, und in der Querrichtung der Faser so nebeneinander gelagert sind, dass ihre Längsrichtung mit der der Faser parallel ist. Das wäre diejenige Struktur und Annahme, welche M'Dougall seiner Theorie zugrunde zu legen scheint. In der Tat ist dies eine Annahme, welche anscheinend mit den mikroskopischen Beobachtungen über die Struktur der Muskelfasern nicht im Widerspruch steht. M'Dougall betrachtet die Segmente der Fibrille, welche er Sarkomere nennt, als solche Gebilde. Wenn wir aber voraussetzen, dass diese schlauchförmigen Gebilde von elastischen Wänden eingeschlossen sind, und dass in ihnen bei der Kontraktion der innere Druck durch Osmose steigt, so ist leicht einzusehen, dass dieselben unter dieser Bedingung nicht imstande sein würden, sich zu verkürzen. Haben wir irgend einen mit Flüssigkeit gefüllten elastischen Schlauch und erhöhen in demselben durch Verbindung mit einem Druckreservoir den inneren Druck, so dehnt sich derselbe nicht nur in der Querrichtung, sondern auch in der Längsrichtung aus und verlängert sich daher, anstatt sich zu verkürzen. Der Versuch lässt sich leicht mit einem gewöhnlichen Gummischlauch von mässiger Dicke und beliebiger Länge ausführen, wenn man ihn mit einem Glasrohr oben verbindet, an demselben senkrecht aufhängt, unten zubindet und mit einem mässigen Gewicht belastet. Ist der Schlauch mit Wasser oder auch mit Luft gefüllt, und setzt man seinen Inhalt einem angemessenen Druck durch Verbindung des Glasrohres mit der Wasserleitung aus, so sieht man deutlich, dass er sich gleichzeitig verdickt und verlängert; das Gewicht sinkt[1]).

Es ist klar, dass für den Muskel ausser dem Zylinder noch andere aber nur Rotationskörper in Frage kommen können, denn im anderen Falle könnte die Verdickung des Muskels nicht nach allen Richtungen des Querschnittes eine gleiche sein. Was nun in dieser Hinsicht von einem zylindrischen Rohr gilt, das wird mit grosser Wahrscheinlichkeit auch für jeden von konvexen Flächen begrenzten

1) Für ein zylindrisches Rohr ist dieses Verhalten streng bewiesen in dem Werke von C. Bach, Elastizität und Festigkeit. 4. Aufl. S. 528 u. ff., siehe S. 536, Anmerk. 1. Berlin 1902.

Rotationskörper mit elastisch gespannten Wandungen gelten. Für ein Rotationselipsoid würde sich dies wohl am leichtesten theoretisch beweisen lassen. Ich beschränke mich aber darauf, dies an einem eliptisch gestalteten Gummiballon experimentell nachzuweisen. Ist derselbe vollständig aufgeblasen, mit irgendeinem Gewichte belastet, so tritt bei Verstärkung des Druckes Verlängerung desselben ein, wie unten angeführte Experimente zeigen.

Es fragt sich nun, ob anders gestaltete, mit Flüssigkeit gefüllte Hohlkörper eine Verkürzung ergeben können und unter welchen Bedingungen dies geschieht. Ein solcher Fall ist in der Tat in dem oben erwähnten Reuleaux'schen Modell verwirklicht. Reuleaux hat indes die zum Gelingen des Versuchs erforderlichen Bedingungen nicht genauer angegeben. Wir wollen daher zuerst einen Versuch beschreiben, bei welchem man eine Verkürzung einer Reuleaux'schen Blase am deutlichsten feststellen kann. Man nehme einen im aufgeblasenen Zustande etwa kugelförmigen Ballon. Am besten würden wir uns denselben aus einem Luftballonstoff (gefirnisste Seide) herstellen, indessen kann man dazu auch einen Gummiballon oder eine feuchte Harnblase anwenden. Der Ballon wird an seinem offenen Ende mit einem Rohr verbunden, an demselben in zusammengefaltetem leeren Zustande senkrecht aufgehängt und an seinem unteren geschlossenen Ende mit einer leichten Wagschale versehen, auf die wir ein angemessenes Gewicht legen. Die Länge des leeren Ballons ist dann nahezu gleich der halben Peripherie der aufgeblasenen Ballonkugel. Blasen wir nun den Ballon auf — der Versuch ist bequemer mit Luft als mit Wasser auszuführen — so verkürzt er sich, indem er sich der Kugel zu nähern strebt und hebt dabei das Gewicht.

Ich habe diesen Versuch mit einem Gummiballon ausgeführt, welcher etwa 5 cm Länge im zusammengefalteten Zustande ohne oder mit geringer Belastung hatte. Das zuführende Rohr wurde mit einem Druckballon verbunden, der durch eine Presse mit Schraube komprimiert werden konnte; ein Seitenrohr führte zu einem Quecksilbermanometer, an welchem man den herrschenden Druck ablesen konnte. Es wurde auf diese Weise der Druck gemessen, welcher zur Hebung verschiedener Gewichte erforderlich war, und die Höhe, auf welche sie gehoben wurden. Es konnte auch der Druck ermittelt werden, welcher zum Abheben verschiedener Gewichte von einer Unterlage eben hinreichte, ein Versuch, welcher der Kraftmessung am Muskel entsprechen würde. Die angehängte leichte Wagschale

aus Aluminium wurde als Belastung Null angenommen, die Hubhöhe wurde mit Hilfe eines dünnen Rohrstäbchens, welches am unteren Ende des Ballon horizontal befestigt war und vor einer Skala spielte, gemessen. Es wurde ferner die jedesmalige Dehnung durch die Gewichte von 5 cm ursprünglicher Länge aus abgelesen[1]). Der Ballon wurde beim Aufblasen im Querschnitt keineswegs kreisrund, und daher wurden der grösste und kleinste Durchmesser desselben in aufgeblasenem Zustande bei jeder Belastung gemessen.

Versuch 1.

Nr.	Belastung g	Dehnung mm	Hubhöhe mm	Arbeit gmm	Druck mm Hg	Durchmesser des Ballons mm
1	0	0	7,5	0	12,5	37—28
2	100	3	6,0	600	15,0	37—27
3	200	6	4,0	800	17,5	35—25
4	300	10,5	3,25	975	17,5	34—24
5	400	15,0	2,0	800	17,5	33—23
6	500	20,5	1,5	750	19	32—22
7	400	17,0	2,3	920	17,5	33—23
8	300	13,7	3,9	1170	17,5	34—24
9	200	9,5	5,2	1040	?	35—25
10	100	5,2	6,2	620	18	37—27
11	0	3,0	8,0	0	15	37—27

In dem angeführten Versuch zeigte der Ballon manche auffallende Ähnlichkeit in seinem Verhalten mit dem Muskel. Man sieht erstens, dass die Hubhöhe mit zunehmender Belastung abnimmt und zweitens, dass sogar die Arbeit mit zunehmender Belastung ein Maximum erreicht und bei weiterer Zunahme derselben wieder abnimmt. Wir sehen beim Hin- und Rückgang der Belastungen bis 300 g ein Maximum der Arbeit von 975 und 1170 gmm eintreten. Beim Rückgang sind die Dehnungen infolge der elastischen Nachwirkung grösser und daher auch die Hübe und Arbeiten. Die Drucke wachsen mit zunehmender Belastung erst schneller, dann langsamer und erscheinen beim Rückgang auch grösser als beim Hingang.

Trotz dieser Ähnlichkeiten mit dem Muskel, die zu einer Theorie der Kontraktion verlocken könnten, müssen wir von vornherein eine darauf gegründete als unwahrscheinlich erklären. Denn erstens gibt es in dem mikroskopischen Bilde der Muskelfaser wohl keinen Anhalt für das Vorhandensein von kleinen Hohlräumen mit längsgefalteten

1) Bei weiteren Versuchen dieser Art würde es sich lohnen, die Hubhöhen myographisch zu verzeichnen.

Wandungen, welche sich durch Anfüllung aufblähen. Zweitens müsste mit zunehmender Füllung derselben nach dem Maximum der Verkürzung eine Verlängerung des Muskels erfolgen, und zwar um so eher bei weiterer Reizverstärkung, je grösser das angehängte Gewicht ist. In dem angeführten Versuche erfolgte jedesmal, wenn der Druck die bei jeder Belastung angegebene Grösse überstieg, eine Senkung des Zeigers an der Skala. Drittens müssten in der Muskelfaser resp. den Fibrillen derselben ausser den kontraktilen Hohlräumen noch disponible Volumina vorhanden sein, in denen sich der erforderliche Wasservorrat in der Ruhe befindet, der bei der Kontraktion in die kontraktilen Hohlräume diffundiert. Diese „Wasserräume" könnten nicht ausschliesslich in demselben Querschnittselement der Faser zwischen den kontraktilen Räumen liegen, weil sonst eine der Verkürzung entsprechende Querschnittszunahme kaum stattfinden könnte, wie es in Wirklichkeit der Fall ist. Dagegen könnte man sich mit der Annahme helfen, dass bei der quergestreiften Faser die kontraktilen Hohlräume nur in den doppelbrechenden, die Wasserräume in den einfach brechenden Scheiben liegen — was, wie schon gesagt, an die Engelmann'sche Folgerung aus dem mikroskopischen Bilde der beiden Substanzen der Fibrille bei der Kontraktion erinnert.

Von wesentlicher Bedeutung ist indes die Vergleichung der Muskelkraft mit der in dem Modellversuch beobachteten Kraftgrösse. Die Kraft der Verkürzung können wir an dem Modell nach der Weber'schen Belastungsmethode und nach der Rosenthal'schen Überlastungsmethode messen. In dem Versuche wurden 100 g um 3 mm über die natürliche Länge gehoben, 200 g blieben 2 mm unter der natürlichen Länge zurück. Der Kraftwert bei natürlicher Länge würde etwa bei 160 g liegen. Diese Kraft hätte man zu beziehen auf den grössten Querschnitt, den der Ballon beim Aufblasen unter dieser Spannung annimmt. Dieser lässt sich aus den angegebenen Durchmessern des Ballons nur annähernd berechnen[1]), und man würde auf diese Weise für die auf 1 qcm reduzierte Kraft etwa 21,29 g erhalten. Nun kann man ferner aus dem am Manometer abgelesenen Druck die auf 1 qcm der Wandung wirkende Druckkraft berechnen. Nimmt man für 160 g Belastung durch Interpolation einen Druck von 16,9 mm Hg. an, so erhält man für 1 qcm eine Druckkraft von $1{,}69 \cdot 13{,}5 = 22{,}8$ g.

1) Aus den beiden Durchmessern wurde ein mittlerer zu 31 mm angenommen und daraus die Fläche als kreisförmige berechnet.

Man sieht also, dass unter den gegebenen Verhältnissen des angestellten Versuches die Verkürzungskraft des Ballons auf 1 qcm (absolute Kraft) dem innern Druck auf diese Fläche ungefähr gleich kam. In einigen anderen Versuchen dieser Art erhielt ich ganz ähnliche Werte und ebenso auch bei dem Überlastungsverfahren.

Wenn nun in der Muskelfaser bei einer solchen Einrichtung die Verhältnisse ähnliche sein würden wie in dem benutzten Kautschukballon, so wäre es damit experimentell bewiesen, dass diese Kraft ungefähr nur so gross sein könnte, als der in den gedachten Hohlräumen herrschende osmotische Druck, und es fragt sich nun, ob dieser bei dem geringen Werte von höchstens 6 g ausreichen könnte, um die Muskelkraft zu erzeugen.

Hierbei müssen wir nun in Betracht ziehen, dass wir den Muskel keineswegs mit einem einzelnen Ballon vergleichen dürfen, vielmehr hätten wir uns vorzustellen, dass auf einem Quadratzentimeter Querschnitt eine grosse Zahl von kleinen Ballons nebeneinander gereiht wären, von denen jeder einzelne dieselben Verhältnisse in seinen Dimensionen und elastischen Konstanten haben möge wie der untersuchte Ballon. Hierzu kommt für den Muskel noch die Forderung,

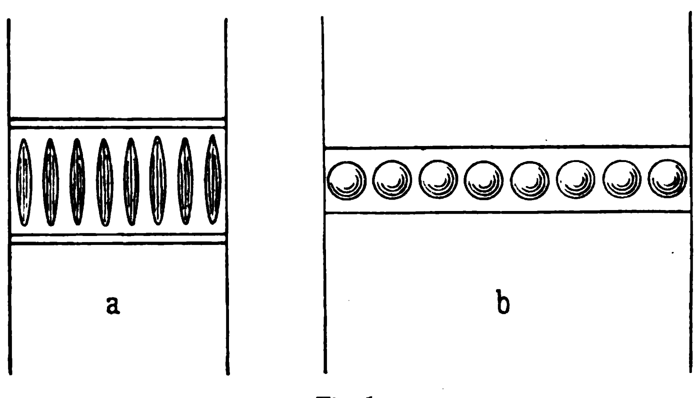


Fig. 1.

dass das Volumen des ganzen Systems, d. h. der Ballons plus der Masse, in welcher sie eingebettet sind, bei der Verkürzung konstant bleibt, während an dem untersuchten Ballon das Volumen bei der Aufblähung und Verkürzung augenscheinlich erheblich zunimmt, da der Inhalt von aussen her hineingepresst wird. In dem Muskel aber und in jeder Faser muss die in die kleinen Ballons eintretende Flüssigkeitsmasse schon vorher enthalten gewesen sein. Um sich

eine Vorstellung von der Sache zu machen, sei in Fig. 1 *a* ein Segment der ruhenden, in Fig. 1 *b* ein Segment der kontrahierten Muskelfaser dargestellt, deren Gesamtvolumina konstant seien. Die Volumina der kleinen Ballons müssen also bei der Kontraktion um ebensoviel zunehmen, als das Volumen der Zwischen- und Nebenschichten abnimmt.

Eine allgemeine analytische Behandlung des Problems bietet erhebliche Schwierigkeiten dar und erscheint mir daher wenig lohnend.

Folgende Betrachtung lässt indes eine ungefähre Berechnung zu, wenn man zu einer Kraft von 600 g auf 1 qcm Muskel gelangen will. Man denke sich einen Ballon, der im gefüllten Zustande einen maximalen Querschnitt von 1 qcm hat und die Kraft des berechneten osmotischen Druckes von 6 g besitzt. Die Länge desselben sei L, der mittlere Querschnitt seiner Wandung (nicht zu verwechseln mit dem des Volumens) in der ganzen Peripherie sei Q[1]). Die Dehnung desselben im zusammengefalteten Zustande durch das Gewicht $P = 6$ g sei D. Nun denken wir an Stelle dieses Ballons n kleine Ballons in einem Quadratzentimeter Querschnitt des Systems nebeneinander gereiht (wie in Fig. 1), deren Wandungen dieselbe Beschaffenheit und Dicke haben mögen wie jener; die Länge eines solchen sei l, der mittlere Querschnitt der Wandungen q, und das Gewicht p, welches der Kraft dieses gleich ist, dehne denselben um d. Für diesen Fall können wir annähernd setzen:

$$L : D = l : d,$$

$$P = \frac{D \cdot Q}{L} \cdot e \quad \text{und} \quad p = \frac{d \cdot q}{l} \cdot e,$$

wenn e den Elastizitätsmodulus bezeichnet. Wir erhalten demnach: $P : p = Q : q$.

Das Verhältnis von $Q : q$ kann man aber annähernd gleich dem Verhältnis der Radien des Mittelquerschnittes des grossen und kleinen Ballons im aufgeblähten Zustande setzen, also

$$P : p = R : r, \quad p = \frac{P \cdot r}{R}.$$

Dieser Mittelquerschnitt des grossen Ballons $R^2\pi$ sei gleich s^2. Denkt man sich nun die Kreisfläche $R^2\pi$ erfüllt von einer grossen

1) Der Querschnitt der Wandungen ist in der Mitte am grössten und nimmt nach den Enden zu ab. Zur Vereinfachung ist daher ein mittlerer Querschnitt angenommen.

Zahl n sich berührender sehr kleiner Kreise vom Radius r, so wird diese Zahl annähernd auch gleich der Zahl Kreise sein, welche das Quadrat s^2 erfüllen, also:

$$s = 2r\sqrt{n}, \quad s^2 = 4r^2n \quad \text{und} \quad R^2\pi = 4r^2n.$$

Statt des grossen Ballons mit dem Radius R mögen wir nun im gefüllten Zustande n kleine Ballons mit dem Radius r haben, die sich gegenseitig berühren.

Es ist also:

$$r = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{\pi}{n}},$$

und demnach:

$$p = P \cdot \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\pi}{n}}.$$

Haben wir also n kleine Ballons, so wird die Gesamtkraft derselben:

$$n \cdot p = P \cdot \frac{1}{2}\sqrt{n \cdot \pi}.$$

Die Kraft wächst also proportional mit der Quadratwurzel aus der Zahl der Ballons. Nun hatten wir aus dem mit dem Kautschukballon angestellten Versuche gefunden, dass die Kraft P ungefähr gleich dem innern Druck ist, beides auf die Flächeneinheit bezogen. Dies übertragen wir auch auf jeden der kleinen Ballons; P nehmen wir als den berechneten osmotischen Druck gleich 6 g an und die Kraft einer Muskelzuckung wie früher zu 600 g.

Es müsste also sein:

$$6 \cdot \frac{1}{2}\sqrt{n \cdot \pi} = 600.$$

Hieraus erhalten wir $n = 12733$; d. h. also, es müssten auf 1 qcm Muskel 12733 kleine ballonförmige Blasen von der angenommenen Beschaffenheit kommen, wenn durch den osmotischen Druck bei der Zuckung die Muskelkraft von 600 g erzeugt werden sollte.

Ich hatte nun bei einer anderen Gelegenheit auf 1 qmm Querschnitt des Froschmuskels 139,6 Fasern gemessen, also auf 1 qcm 13960 Fasern[1]). Es könnte also der Durchmesser eines Bläschens sogar den einer Muskelfaser annehmen, so würden wir schon die

---

1) Siehe: Die Energie des Muskels als Oberflächenenergie, dieses Archiv Bd. 85 S. 293. 1901.

Muskelkraft erreicht haben. Dies würde also a fortiori der Fall sein, wenn wir den Bläschen nur den Durchmesser der Fibrillen zuerteilen würden.

III.

Das Resultat der vorangegangenen Betrachtungen und Berechnungen ist folgendes:

Der osmotische Druck, welcher in den kontraktilen Elementen der Muskelfaser bei der Kontraktion anwächst, würde ausreichen, die Muskelkraft zu erzeugen, wenn die hierzu notwendige Bedingung erfüllt wäre, welche darin bestände, dass diese Elemente aus kleinen mit längsgefalteten Wandungen versehenen Bläschen in bestimmter Anordnung gebildet wären.

Was hiernach vom osmotischen Druck gilt, das würde selbstverständlich auch von einem durch Quellung erzeugten Druck gelten, wenn wir dieselben mechanischen Bedingungen voraussetzten. Bekanntlich können durch Quellung sehr bedeutende Drucke erzeugt werden. Es kann also keinem Zweifel unterliegen, dass eine Zunahme des Quellungsdruckes in den angenommenen kontraktilen Elementen die Muskelkraft erreichen kann. Man müsste sich vorstellen, dass diese Elemente mit einer Kolloidlösung erfüllt sind, welche bei der Kontraktion eine chemische Veränderung erleidet und dabei einen höheren Quellungsdruck annimmt[1]).

Die unerlässliche Bedingung aber für das Zustandekommen der Kontraktion auch unter dieser Annahme besteht darin, dass die kontraktilen Elemente die oben angegebene Struktur und Anordnung besitzen. Bevor daher weitere Konsequenzen an eine solche Hypothese geknüpft werden, halte ich es für notwendig, die Frage mit histologischen Mitteln zu behandeln. Obgleich ich weiss, dass nach allen bisherigen histologischen Untersuchungen eine solche Struktur, wie sie nach jener Annahme verlangt wurde, nicht bemerkt worden ist und mir dieselbe nach eigener Anschauung höchst unwahrscheinlich vorkommt, möchte ich doch nicht versäumen, die Herren Histologen von Fach zu einer Entscheidung aufzufordern.

---

1) Diese Vorstellung unterscheidet sich von der Engelmann'schen darin, pass letztere die Quellungskraft durch die vom chemischen Prozess herrührende Wärme wachsen lässt, wobei die quellbare Substanz sich selbst nicht chemisch zu verändern braucht.

Sollte die Entscheidung so ausfallen, dass die mikroskopisch wahrnehmbaren kontraktilen Elemente der Muskelfasern unmöglich aus Bläschen mit longitudinal gefalteten Wandungen bestehen können, so würden damit die osmotische und Quellungstheorie der Kontraktion in dem behandelten Sinne zu verwerfen sein. Es würde sich damit die Wage zugunsten der Oberflächenspannungstheorie erheblich neigen, wie ich letztere schon früher behandelt habe. Diese Theorie ist von der Gestalt der kontraktilen Elemente nur insoweit abhängig, als bei der Verkürzung in ihrer Längsrichtung ihre Oberfläche kleiner werden muss. Eine Grenze für die Verkürzung wäre, wie es der Wirklichkeit entspricht, auch bei dieser Theorie in dem Punkte gegeben, in welchem die Oberfläche ein Minimum erreicht hat, aber niemals könnte darüber hinaus eine Wiederverlängerung eintreten, wie es bei jenen beiden Theorien möglich wäre.

Bei der osmotischen und Quellungstheorie sind Volumenergien im Spiele. In solchem Falle macht es besondere Schwierigkeit zu erklären, dass das Volumen des arbeitenden Körpers sich nicht ändert. Sie erfordern ferner eine ausserordentlich schnelle Bewegung von Wassermolekülen durch Diffusion. Auch von diesen Schwierigkeiten ist die Oberflächenspannungstheorie frei. Dass aber andere Energieformen als die osmotische, Quellungsenergie oder Oberflächenenergie in dem Muskel aus der chemischen Energie entstehen, um die Muskelarbeit zu erzeugen, ist nach unseren heutigen Kenntnissen im höchsten Grade unwahrscheinlich.

Die Rolle des Liquor cerebralis bei der Circulation im Schädel.

Von

R. Geigel in Würzburg.

(Mit 4 Textfiguren.)

Meine Anschauungen über die Wirkung der Vasomotoren auf die Circulation im Gehirn habe ich kürzlich[1]) gegenüber Angriffen von Seiten Jensen's[2]) vertheidigen müssen. Jensen hat wiederum[3]), wie das sein Recht ist, sich seiner Haut gewehrt und garnicht schlecht. Gleichwohl halte ich, was ich gesagt habe, vollkommen aufrecht und könnte mich der Kürze halber nur auf den einen Hauptgrund beschränken, der von Jensen nicht widerlegt ist, dass nämlich Jensen's Versuche, an und für sich interessant und wichtig, für oder gegen meine Darlegungen garnichts beweisen können, ihrer ganzen Anlage nach.

Aber kein Mensch mag viel dümmer scheinen, als er wirklich ist, deswegen muss ich doch ganz kurz noch ein paar Punkte in Jensen's Erwiderung berühren. Ich habe Jensen's Versuch XI, wenn er überhaupt etwas beweisen könnte, gerade für mich, Jensen hat ihn auch neuerdings wieder gerade gegen mich verwerthet. Ich sagte, in Versuch XI ist am trepanirten Schädel auf Sympathicusdurchschneidung Vermehrung des mittleren Stromvolums eingetreten, Jensen sagt Verminderung. Nun darf man doch annehmen, dass wir beide, Jensen und ich, unterscheiden können, welche von zwei gedruckten Zahlen die grössere ist, und wenn Jensen sagt die erste, und ich sage die zweite, so haben wir eben nicht die nämlichen Zahlen vor uns gehabt. So ist es auch hier offenbar

1) Dieses Archiv Bd. 105 S. 620 ff.
2) Dieses Archiv Bd. 103 S. 171 ff. und S. 196 ff.
3) Dieses Archiv Bd. 107 S. 81 ff.

gewesen. Der Streit um Jensen's Versuch Nr. XI klärt sich leicht auf. Jensen hat die Zahlen im Auge, die er vermuthlich erhalten hätte, wäre der Blutdruck = 100 mm Hg gewesen, ich die, welche Jensen wirklich erhalten hat[1]). Jensen wird nur die auf den gleichen Druck von 100 mm Hg umgerechneten Werthe zur Vergleichung zulassen. Ich habe mich um diese Werthe gar nicht bekümmert, da ich die dazu gehörigen Werthe des venösen Drucks nicht kenne. Freilich weiss Jensen so gut wie ich, dass Constanthalten des venösen Druckes unerlässlich ist zur Vergleichung der Werthe, sagt es bezüglich der Versuche Hürthle's auch, dass diese Bedingung eingehalten wurde. Aber wenn dies nun auch, was ich nicht weiss, aber sicher annehme, für Jensen's eigene Versuche zutrifft, und wir also nur die Zahlen, die Jensen selbst als maassgebend ansieht, mit den anderen Versuchsresultaten vergleichen, so nimmt der Versuch XI, der einzige, wo der Schädel trepanirt war, immer noch eine bemerkenswerthe Ausnahmestellung ein. Dass, wie Jensen neuerdings mir gegenüber hervorhebt, im Versuch XI das Secundenvolumen schon vor der Sympathicusdurchschneidung zugenommen hat, ist ganz richtig, mag doch Jensen selbst zusehen, wie dies mit seiner Annahme stimmt, dass der Einfluss der eingeschalteten Stromuhr auf die Viscosität des Blutes das sonst beobachtete Sinken des Secundenvolumens bewirkte, und mag er erklären, warum in dem einen Versuch am trepanirten Schädel die Stromuhr nicht auch so wirkte, warum nicht auch hier die Viscosität des Blutes zunahm!

Durch ein 1 cm grosses Treponloch braucht der Schädel nicht zu einem vollkommen offenen zu werden; so kann es geschehen, dass, wie Jensen in einem ähnlichen Zusammenhang selbst sagt[2]), „die von der Geigel'schen Hypothese geforderten Erscheinungen zwar auch auftreten, aber weniger deutlich."

Jensen's Bedauern, dass sich meine Behauptungen (bis jetzt) einer experimentellen Prüfung entziehen, theile ich vollkommen, bewiesen wird aber dadurch gegen diese Behauptungen natürlich nichts.

Jensen sagt hierüber[3]): „Die Hypothese soll nur für einen kurzen Zeitraum nach Eintritt der vasomotorischen Aenderungen

1) l. c. S. 215.
2) l. c. S. 85.
3) l. c. S. 85.

gelten; wie gross diese Zeit ist, sagt Geigel nicht, doch dürfte sie unter den für die Hypothese gemachten Voraussetzungen (vgl. Geigel l. c. S. 621) kaum einige Secunden betragen. Und ferner soll die Hypothese nicht mehr gelten, sobald die vasomotorische Gefässverengerung eine gewisse Grenze überschreite, die jedoch nur mathematisch charakterisirt und nicht experimentell festgestellt werden kann. Durch diese Einschränkungen wird aber das Geltungsbereich der Hypothese derart eingeengt, dass der von Geigel angenommene Mechanismus im Leben der Thiere wohl kaum eine nennenswerthe Rolle spielen kann, dass also den Ueberlegungen Geigel's lediglich ein ideelles Interesse zukommt."

Ich weiss nicht, was hier Jensen die „Geigel'sche Hypothese" nennt. Der von mir entwickelte mathematische Satz ist ein Theorem, das allerdings wie jeder mathematische Satz ein hypothetisches Urtheil enthält; der Satz kann auch wahr oder falsch sein, aber eine Hypothese ist er nicht, wenigstens nicht nach der seit Aristoteles in der Logik üblichen Nomenclatur.

Es ist nicht meine Schuld, dass die experimentelle Prüfung des von mir theoretisch aufgestellten Satzes vorläufig zu grosse Schwierigkeiten macht. Die von mir aufgestellten Einschränkungen liegen in der Natur der Sache, und dafür kann ich auch nichts, dass der Widerstand bei Verengerung der Arterien nur bis zu einem gewissen Punkt, dem Minimum, sinkt und von da an wieder steigt. So ist es nun einmal mit den Extremen, und wenn einer einen Berg hinauf und immer, immer gerade zugeht, so gilt der Satz, dass er dabei höher kommt, auch nur bis zum Gipfel, dann muss der Mann wieder herunter.

Jensen hat vielleicht darin Recht, dass „der von mir angenommene Mechanismus im Leben der Thiere wohl kaum eine nennenswerthe Rolle spielt"; ich habe auch, offen gestanden, bei meinen Untersuchungen gar nicht an gesunde Kaninchen gedacht, sondern nur an Menschen, an kranke Menschen, über deren Leben und Tod die paar Secunden leider so oft entscheiden, für die meine Hypothese gelten soll, weil in den paar Secunden z. B. ein epileptischer Insult eingeleitet wird, ein Schlaganfall sich vollzieht.

Nach meiner bisherigen Erfahrung darf ich zwar hoffen, dass bald wieder einer kommt, der weiss, dass es einen Liquor cerebrospinalis gibt, und dass der in seinem Volumen auch schwanken hann, einer, der so freundlich ist, mich davon zu unterrichten. Ich will aber doch lieber, bevor ich es wieder vergesse, geschwind noch

versuchen, klar darüber zu werden, welche Rolle diese wechselnde Menge von Flüssigkeit beim Gehirnkreislauf spielt. Leider wieder nur theoretisch, weil mir zur experimentellen Bearbeitung nichts mehr fehlt als alles.

Damit man weiss, was ich überhaupt will, muss ich hier zum Theil schon früher Gesagtes[1]) wiederholen. Ich habe die Frage theoretisch behandelt, wie der Widerstand im Gesammtkreislauf des Gehirns sich ändert, wenn der mittlere Querschnitt eines Theils (des arteriellen) der Strombahn durch Wirkung der Vasomotoren grösser oder kleiner wird. Dabei habe ich nur den Fall analysirt, wo die Menge des Liquor cerebralis merklich als constant angesehen werden darf, was, wie erwähnt, für kurze, aber über Leben und Tod entscheidende Zeiträume zutreffen kann. Wir denken uns die Gesammt-Strombahn des Blutes im Cavum cranii durch einen Querschnitt in zwei Theile zerlegt, den ersten Theil, die Arterien umfassend, wollen wir den „arteriellen", den zweiten, Capillaren und Venen, kurz den „venösen" nennen. Der Gesammtwiderstand in der ganzen Strombahn bezeichnen wir mit W, den im ersten Theil mit w_1, den im zweiten mit w_2. Dann ist

$$W = w_1 + w_2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1).$$

Den mittleren Querschnitt der Strombahn im ersten Theil heissen wir q_1, seine mittlere Länge l_1, dann ist das Volumen dieses Theils $= q_1 l_1$, entsprechend im zweiten Theil $= q_2 l_2$; es ist dann

$$w_1 = \frac{k_1 l_1}{q_1^{\,n}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

$$w_2 = \frac{k_2 l_2}{q_2^{\,\nu}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

wenn k_1 und k_2 Constante, n und ν ganz beliebige Zahlen bedeuten, nur müssen sie > 1 sein, denn sicher nimmt der Widerstand mit wachsendem Querschnitt ab.

Aus 1, 2, 3 folgt

$$W = \frac{k_1 l_1}{q_1^{\,n}} + \frac{k_2 l_2}{q_2^{\,\nu}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4).$$

Heissen wir das constante Volumen der starren Schädelkapsel V, das Volumen des Liquor cerebralis v, so ist

$$v + q_1 l_1 + q_2 l_2 = V,$$

1) Virchow's Arch. Bd. 174.

woraus folgt

$$q_2 = \frac{V - v - q_1 l_1}{l_2}.$$

Dieser Werth in Gleichung 4 eingesetzt ergiebt

$$W = \frac{k_1 l_1}{q_1^n} + \frac{k_2 l_2^{\nu+1}}{(V - v - q_1 l_1)^\nu}.$$

Untersuchen wir, wie W sich bei wachsendem q_1 ändert, unter der Voraussetzung, und so lang als v constant bleibt, der Liquor cerebralis also weder zu- noch abnimmt, so findet man die erste Derivirte nach q_1

$$\frac{dW}{dq_1} = -n \frac{k_1 l_1}{q_1^{n+1}} + \nu \frac{k_2 l_2^{\nu+1} l_1}{(V - v - q_1 l_1)^{\nu+1}}.$$

Die zweite Derivirte

$$\frac{d_2 W}{d q_1^2} = n(n+1) \frac{k_1 l_1}{q_1^{n+2}} + \nu(\nu+1) \frac{k_2 l_2^{\nu+1} l_1^2}{(V - v - q_1 l_1)^{\nu+2}}$$

ist jedenfalls positiv, da $V - v - q_1 l_1$ nie negativ werden kann.

Für

$$-n \frac{k_1 l_1}{q_1^{n+1}} + \nu \frac{k_2 l_2^{\nu+1} l_1}{(V - v - q_1 l_1)^{\nu+1}} = 0$$

hat der Gesammtwiderstand W also ein Minimum. Aus obiger Gleichung folgt nach einigen Umformungen und Einsetzen der Werthe aus den Gleichungen 2 und 3:

$$w_1 = w_2 \frac{\nu l_1 q_1}{n l_2 q_2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

d. h. mit Worten: der Gesammtwiderstand ist dann am geringsten, wenn der Widerstand im arteriellen Theil sich zu dem im venösen Theil verhält wie die Volumina der beiden Abschnitte direct und umgekehrt wie die Exponenten, welche das Abnehmen des Widerstandes bei wachsendem Querschnitt bestimmen.

Nach allem, was wir wissen, ist der Widerstand in den Arterien w_1 kleiner als es der Gleichung 5 entspricht und, daraus leite ich die Berechtigung zu der Behauptung ab: Mit zunehmender Erweiterung der Arterien wächst der Gesammtwiderstand, mit Verengerung der Arterien nimmt der Gesammtwiderstand ab, bis obige Gleichung 5 erfüllt, das Minimum erreicht ist. Darüber hinaus bewirkt noch weitere Verengerung des arteriellen Querschnitts wieder eine Vermehrung des Gesammtwiderstandes. Der Grenzwerth

$$W = \infty,$$

also das Aufhören jeder Circulation ist dann gegeben, wenn entweder q_1 oder $q_2 = 0$ wird.

Jetzt will ich diese Betrachtung dahin erweitern, dass ich das Volumen des Liquor cerebralis nicht mehr als constant, sondern als unabhängige Variable in die Gleichung einführe. W ist dann zugleich eine Function von q_1 und von v. Damit erstreckt sich die Deduction auf alle überhaupt möglichen Fälle, denn ausser Blut und Liquor handelt es sich am Schädel nur um practisch constante Grössen, die durch Druck, Temperatur usw. nur eine völlig zu vernachlässigende Volumschwankung erfahren können.

Das Volumen des Liquor cerebralis v kann für sich nur schwanken zwischen den Werthen 0 und V. Wir drücken dies aus, indem wir setzen

$$v = \frac{V}{x} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (6)$$

worin x eine veränderliche Grösse ist, die aber nur von 1 bis ∞ schwanken kann.

Es ist dann

$$W = \frac{k_1 l_1}{q_1^n} + \frac{k_2 l_2^{\nu+1}}{\left(V - \frac{V}{x} - q_1 l_1\right)^\nu}.$$

Durch partielles Deriviren erhalten wir

$$\frac{dW}{dq_1} = -n \frac{k_1 l_1}{q_1^{n+1}} + \nu \frac{k_2 l_2^{\nu+1} l_1}{\left(V - \frac{V}{x} - q_1 l_1\right)^{\nu+1}}$$

$$\frac{d_2 W}{dq_1^2} = n(n+1) \frac{k_1 l_1}{q_1^{n+2}} + \nu(\nu+1) \frac{k_2 l_2^{\nu+1} l_1^2}{\left(V - \frac{V}{x} - q_1 l_1\right)^{\nu+2}}$$

$$\frac{dW}{dx} = -\nu \frac{k_2 l_2^{\nu+1}}{\left(V - \frac{V}{x} - q_1 l_1\right)^{\nu+1}} \cdot \frac{V}{x^2}$$

$$\frac{d_2 W}{dx^2} = \nu(\nu+1) \frac{k_2 l_2^{\nu+1}}{\left(V - \frac{V}{x} - q_1 l_1\right)^{\nu+2}} \cdot \frac{V^2}{x^4} + 2\nu \frac{k_2 l_2^{\nu+1}}{\left(V - \frac{V}{x} - q_1 l_1\right)^{\nu+1}} \cdot \frac{V}{x^3}.$$

Die zweiten partiellen Derivirten sind, wie man leicht sieht, unter allen Umständen positiv, da der Klammerausdruck im Nenner

nie negativ werden kann. Der Widerstand W hat also ein Minimum, wenn die ersten partiellen Derivirten jede für sich $= 0$ werden. Dies ist dann der Fall, wenn sowohl

$$n \frac{k_1 l_1}{q_1^{n+1}} = \nu \frac{k_2 l_2^{\nu+1} l_1}{\left(V - \frac{V}{x} - q_1 l_1\right)^{\nu+1}}$$

oder

$$w_1 = w_2 \cdot \frac{\nu l_1 q_1}{n l_2 q_2}$$

als auch $x = \infty$ oder $v = 0$ wird.

Das heisst mit Worten: Der Gesammtwiderstand in der cerebralen Blutbahn ist dann am geringsten, wenn gleichzeitig gar kein Liquor cerebralis vorhanden ist und der Widerstand im arteriellen Abschnitt zu dem im venösen sich verhält wie die Volumina der beiden Abschnitte direct und umgekehrt wie die Exponenten, welche das Abnehmen des Widerstandes bei wachsendem Querschnitt bestimmen.

Bis zu diesem Punkt nimmt der Gesammtwiderstand durch Erweiterung des arteriellen Theils ab, darüber hinaus zu. Jede Vermehrung der Liquor cerebralis vermehrt den Gesammtwiderstand für sich. Die Grenzfälle liegen so, dass

$$W = \infty,$$

also jede Circulation unmöglich wird, wenn entweder

$$q_1 = 0$$

oder

$$v + q_1 l_1 = V$$

und damit

$$q_2 = 0$$

wird.

Eine besondere Besprechung verdient der Fall, dass das Volumen des Liquor cerebralis nicht durch spontan vermehrte Secretion und Resorption, sondern nur dadurch schwankt, dass die Arterien sich erweitern oder verengern, wenn also

$$v + q_1 l_1 = \text{Const.}$$

oder

$$\frac{V}{x} + q_1 l_1 = \text{Const. ist.}$$

Dann ist in der Gleichung

$$W = \frac{k_1 l_1}{q_1^n} + \frac{k_2 l_2^{\nu+1}}{\left(V - \frac{V}{x} - q_1 l_1\right)^{\nu}},$$

das zweite Glied rechts selbst = Const., und es folgt

$$\frac{dW}{dq_1} = -n \frac{k_1 l_1}{q_1^{n+1}},$$

d. h. der Gesammtwiderstand nimmt mit wachsendem q_1, mit Erweiterung der Arterien ab. Dies geschieht so lange bis $\frac{V}{x} = o$ wird, bis also aller Liquor cerebralis verdrängt ist. Von da an haben wir

$$W = \frac{k_1 l_1}{q_1^n} + \frac{k_2 l_2^{\nu+1}}{(V - q_1 l_1)^\nu},$$

$$\frac{dW}{dq_1} = -n \frac{k_1 l_1}{q_1^{n+1}} + \nu \frac{k_2 l_2^{\nu+1} \cdot l_1}{(V - q_1 l_1)^{\nu+1}} = 0,$$

$$\frac{d_2 W}{d q_1^2} = n(n+1) \frac{k_1 l_1}{q_1^{n+2}} + \nu(\nu+1) \frac{k_2 l_2^{\nu+1} l_1^2}{(V - q_1 l_1)^{\nu+2}} \text{ (positiv)},$$

also ein Minimum, wenn

$$n \frac{k_1 l_1}{q_1^{n+1}} = \frac{\nu k_2 l_2^{\nu+1} l_2}{(V - q_1 l_1)^{\nu+1}},$$

und wieder wie oben

$$w_1 = w_2 \frac{\nu l_1 q_1}{n l_2 q_2} \quad \text{ist.}$$

Früher wurde schon ausgeführt[1]), dass normaler Weise der Widerstand w_1 im arteriellen Theil kleiner ist, als es dieser Gleichung entspricht, dass also Abnahme von w_1 durch Erweiterung der Arterien den Gesamtwiderstand von seinem Minimum entfernt, ihn vergrössern muss, so lang v, das Volumen des Liquor cerebralis, constant bleibt. In dem hier angenommenen Fall sinkt der arterielle Widerstand mit Verkleinerung von v noch weiter, während w_2 constant bleibt. In dem Augenblicke also, wo $v = o$ wird, aller Liquor verdrängt ist, wird um so sicherer w_1 zu klein sein, also jede weitere Verkleinerung von w_1 durch Erweiterung der Arterien den Gesammtwiderstand erhöhen müssen. Hieraus folgt: Wenn die Arterien sich erweitern, und im nämlichen Maasse der Liquor cerebralis abnimmt, so nimmt der Gesammtwiderstand ab bis zu dem Augenblick, wo aller Liquor verdrängt ist. Von hier an bewirkt jede fernere Erweiterung der Arterien eine Erhöhung des Gesammtwiderstandes.

Erfolgen diese beiden Veränderungen nicht gleichzeitig, sondern nach einander, erweitern sich die Arterien plötzlich, so dass der

1) Virchow's Arch. Bd. 174 S. 448 ff.

Liquor nicht so rasch ausweichen kann, eine wenn auch nur kurze Zeit merklich constant bleibt, so steigt zunächst der Gesammtwiderstand. Fliesst dann allmählich der Liquor entsprechend der artiellen Erweiterung ab, so nimmt der Gesammtwiderstand ab und wird schliesslich sogar kleiner als im Anfang. Dies kann aber nur geschehen so lange, bis aller Liquor verschwunden ist. Jede Volumvergrösserung der Arterien darüber hinaus bedeutet wieder Zunahme des Gesammtwiderstandes.

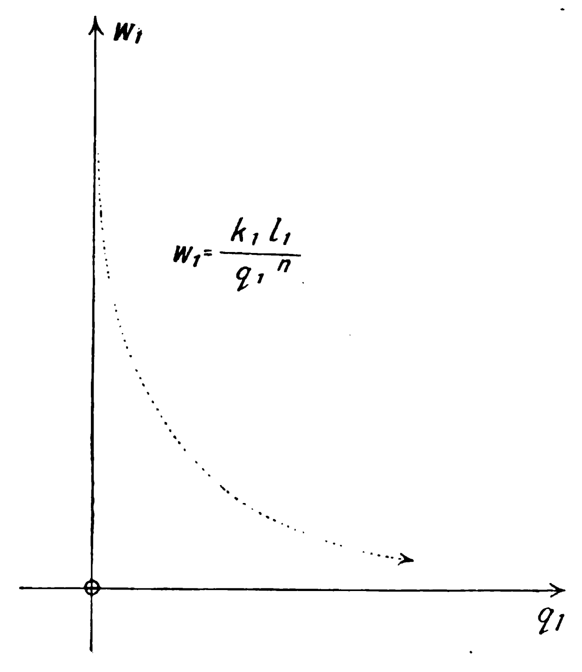


Fig. 1.

Leider kennen wir in den entwickelten mathematischen Formeln die Constanten nicht und sind nicht im Stande, daraus die Grösse des Widerstandes zahlenmässig auszudrücken, aber wir können uns daraus doch eine Vorstellung machen, in welchem Sinne der Widerstand im Gehirnkreislauf sich unter den verschiedenen möglichen Bedingungen ändert.

Ich erlaube mir zu leichterer Uebersicht zunächst im Anschluss an eine frühere Arbeit[1]) von mir folgende drei Figuren zu reprodu-

1) Virchow's Arch. Bd. 174.

ciren. Fig. 1 zeigt, wie etwa sich der Widerstand im arteriellen Theil $= w_1$ ändert, wenn der Querschnitt der Arterien q_1 wächst. Fig. 2 zeigt dasselbe für den Widerstand w_2 im venösen Theil bei wachsendem Querschnitt q_2. Fig. 3 gilt für den Fall, dass $v =$ const. ist, wobei mit wachsendem q_1 immer q_2 abnehmen muss. Die Curve für q_2 ist demgemäss umgeklappt und die ausgezogene Curve bezeichnet mit ihren Ordinaten die Grösse des Gesammtwiderstandes W für wachsendes q_1.

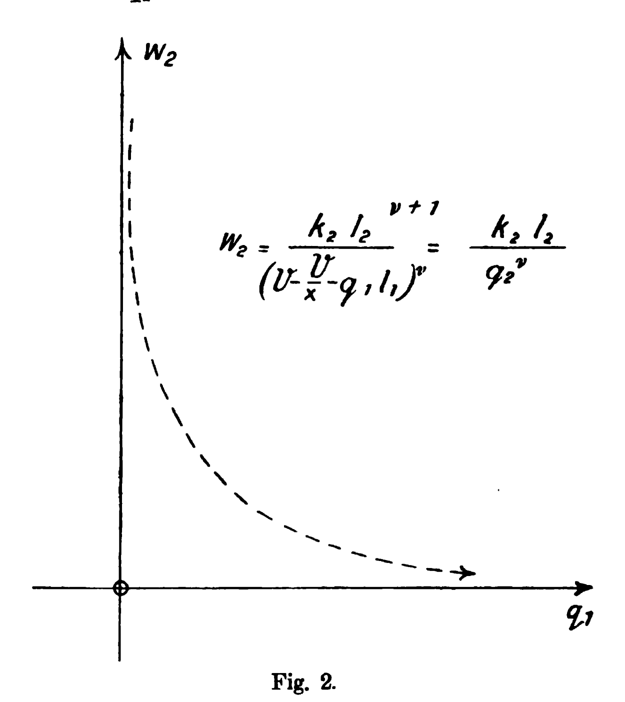


Fig. 2.

Man sieht leicht, dass der Gesammtwiderstand $W = \infty$ werden muss, wenn entweder $q_1 = 0$, oder mit wachsendem q_1 der Querschnitt $q_2 = 0$ wird. Dazwischen hat W ein Minimum. Es fragt sich, ob dieses Minimum normaler Weise verwirklicht ist. Dann würde der normale mittlere Querschnitt der Arterien q_1 bei 1 anzunehmen sein. Das ist möglich, aber nicht gerade wahrscheinlich. Es wäre dann durch Volumschwankung in jedem Sinne nur eine Verschlechterung der Circulation, niemals eine Besserung ohne gleichzeitige Erhöhung des Blutdrucks oder richtiger gesagt des Gefälles möglich. Auch links von 1 etwa bei 2 ist die Stelle des normalen Querschnittes q_1 wohl nicht anzusetzen. Die Gründe dafür habe ich

früher ausführlich angegeben. Der Widerstand in den Arterien ist im Verhältniss zu dem in den Capillaren und Venen viel zu niedrig, und es bleibt nichts übrig, als das normale q_1 nach rechts vom Minimum, sagen wir etwa an die Stelle 3 zu verlegen.

Auf einen Punkt will ich hier noch ganz besonders aufmerksam machen. Die Curve gibt und kann nur geben ein ungefähres Bild, wie sich der Widerstand mit veränderlichem q_1 ändert. Sicher ist, dass die Curven nach oben concav sein müssen. Wenn wir

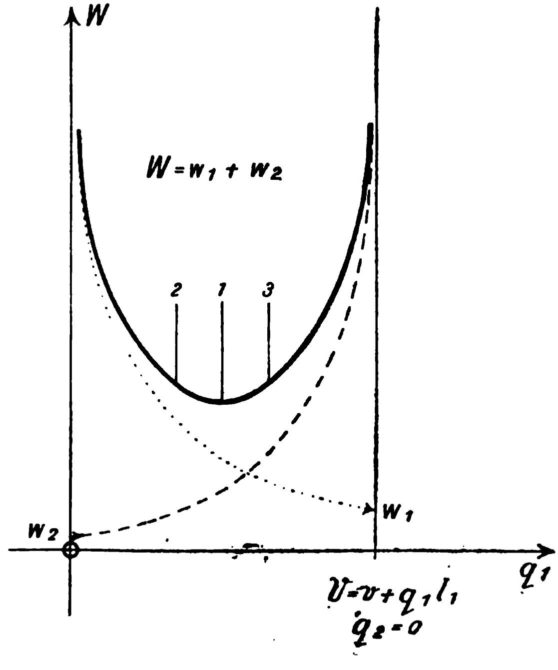


Fig. 3.

den Punkt für die normale Circulation („Eudiämorrhysis") auch nur ungefähr richtig angesetzt haben, d. h. rechts vom Minimum, so bewirkt spastische Verengerung der Arterien sicher zunächst Hyperdiämorrhysis, paralytische Erweiterung überhaupt sicher Adiämorrhysis. Sicher aber ist ferner, das geht aus der Form der nach oben concaven Curven hervor, dass bei gleicher Querschnittsänderung der Effect auf den Widerstand im ersten Fall viel kleiner sein wird als im zweiten. So könnte es geschehen, dass im wohlgelungenen Versuch z. B. die Reizung des Sympathicus nur eine undeutliche, geringfügige Vermehrung des Secundenvolumens Blut, die Durchschneidung

desselben eventuell erhebliche Verminderung des Secundenvolumens erkennen liesse. Und so wird sich's wohl auch am lebenden Gehirn verhalten: Die Hyperdiämorrhysis durch spastische Verengerung wird stets relativ gering sein, gegenüber dem Grade von Adiämorrhysis, die sich durch entsprechende paralytische Erweiterung der Arterien einstellt, falls überhaupt der normale Tonus der Vasomotoren ein beträchtlicher ist.

Ich halte es nicht für gleichgültig, dass Verengerung der Arterien ceteris paribus bessere Durchflutung herbeiführen kann und gewisse klinische Erfahrungen, die Einwirkung der Kälte auf die Functionen des Gehirnes u. dgl., kämen hier auch in Betracht, aber vornehmlich halte ich schon den normalen Tonus der Arterienwand für höchst wichtig für die Gehirncirculation. Wäre dieser Tonus nicht da, könnte er nicht jeweils auch Erhöhungen des arteriellen Druckes bei stärkerer Herzarbeit entgegentreten, so dass die Arterien sich nicht erweitern können, so müsste die Circulation im Gehirn viel schlechter ausfallen, ja alle Augenblicke durch Compression der Venen unterbrochen werden können. Ich darf hier wohl an meinen früher angestellten Versuch[1]) erinnern, wo im künstlichen Kreislaufschema trotz hohen Druckes gar kein Wasser durch die Schläuche getrieben werden konnte, wenn ein Theil der Schläuche ohne Spannung war. Es wurde dann der peripher gelegene Theil des Schlauches einfach platt gedrückt und der Stromlauf wurde unterbrochen.

Ausgeschlossen ist es freilich nicht, dass der Tonus der Vasomotoren normaler Weise überhaupt nur gering ist. Dann sind die Gehirnarterien bei Sympathicuslähmung nur einer unbedeutenden Erweiterung fähig, aber der Vergrösserung des Querschnittes tritt schliesslich der Widerstand der nur noch physikalisch dehnbaren elastischen Gefässwand entgegen. Der verhütet es dann, dass etwa bei steigendem Blutdruck die Arterien immer weiter und damit die Venen enger werden. Bei höchster Spannung kann dann Steigerung des arteriellen Druckes durch Erhöhung des Gefälles, ohne dass der Widerstand im Gehirn sich im geringsten ändert, nur Hyperdiämorrhysis zur Folge haben — so lange die Gefässwand hält. Thut sie dies nicht und reisst an irgend einer Stelle ein, so pflanzt sich der hier herrschende arterielle Druck auf das Cavum cranii fort und die

1) Sitzungsber. d. physik.-med. Gesellsch. zu Würzburg, XI. Sitzung vom 31. Mai 1890 und Virchow's Arch. Bd. 121 S. 441. 1890.

Theile der Gefässbahn, in denen ein niedrigerer Druck herrscht, müssen comprimirt werden, gerade so wie in meinem Versuch von der spannungslosen „Arterie" her die „Vene" zusammengequetscht wurde. Nebenbei bemerkt führe ich auf diese acute Adiämorrhysis cerebri die Symptome des Insults beim blutigen Hirnschlag zurück.

Dies alles gilt nur für den Fall, dass v, das Volumen der cerebralen Flüssigkeit, constant ist, namentlich für so rasche Kaliberschwankungen, dass während derselben der Liquor gar keine Zeit hat, merklich zu- oder abzufliessen. Jeder, der klinisch denken kann, weiss, dass dies für apoplectiforme und epileptische Anfälle der verschiedensten Art zutrifft. Jeder Nachlass im Tonus der Gehirngefässe, jede „Wallung zum Kopf" bewirkt thatsächlich Adiaemorrhysis cerebri und die erzeugten klinischen Erscheinungen sind, wenn auch oft graduell verschieden, qualitativ doch vollkommen gleich denen, welche durch Nachlass der Herzkraft, also durch offenkundige schlechte Blutversorgung des Gehirns herbeigeführt werden. Die zwei von mir aufgestellten[1]) klinischen Formen der „Adiaemorrhysis vasoparalytica" und der „syncopalis" unterscheiden sich nur und sehr wesentlich durch ihre Aetiologie, Prognose und indicirte Therapie und die Begleiterscheinungen, nicht durch ihre Symptome am geschädigten Gehirn selbst.

Anders, wenn das Volumen v der cerebralen Flüssigkeit nicht constant ist. Unter den vielen Möglichkeiten ist speciell die interessant, wo bei Querschnittsänderungen eines Theiles der Gefässbahn, also z. B. bei Volumschwankungen der Arterien der Liquor ab- und zufliesst im nämlichen Maasse, in welchem das Volumen der Arterien grösser oder kleiner wird. In diesem Fall ist $v + q_1 l_1 = \text{const.}$, und ebenso wird das Volumen des venösen Theils durch die Schwankungen des arteriellen Querschnittes nicht beeinflusst, auch $q_2 l_2$ bleibt constant und damit auch der Widerstand w_2 im venösen Theil. Fig. 4 gibt für diesen Fall an, wie der Gesammtwiderstand W sich mit wachsendem q_1 ändert. Die Curve in Fig. 4 unterscheidet sich Anfangs von der Fig. 1 nur dadurch, dass zum Widerstand w_1 noch der constante w_2 addirt ist, welch' letzterer durch eine der Abscisse parallele Gerade dargestellt ist. Die Curve für W ist um die zu w_2 gehörige Ordinatenhöhe gehoben. Diese Curve gibt den Effect an für den Fall, dass die Volumschwankung der Arterien

---

1) Cit. hierüber vide Virchow's Arch. Bd. 174 S. 454.

sich langsam genug vollzieht, dass der Liquor im nämlichen Maasse entweichen oder wieder zufliessen kann, und gibt den Endeffect an für die Fälle, wo die Volumschwankung der Arterien zwar hierfür zu rasch ist, rascher als der Ausgleich im Liquor, dieser aber nachträglich die Volumschwankung von den Arterien her ausgleicht. Stets bewirkt dabei eine Erweiterung der Arterien Verminderung des Gesammtwiderstandes und Hyperdiaemorrhysis, um-

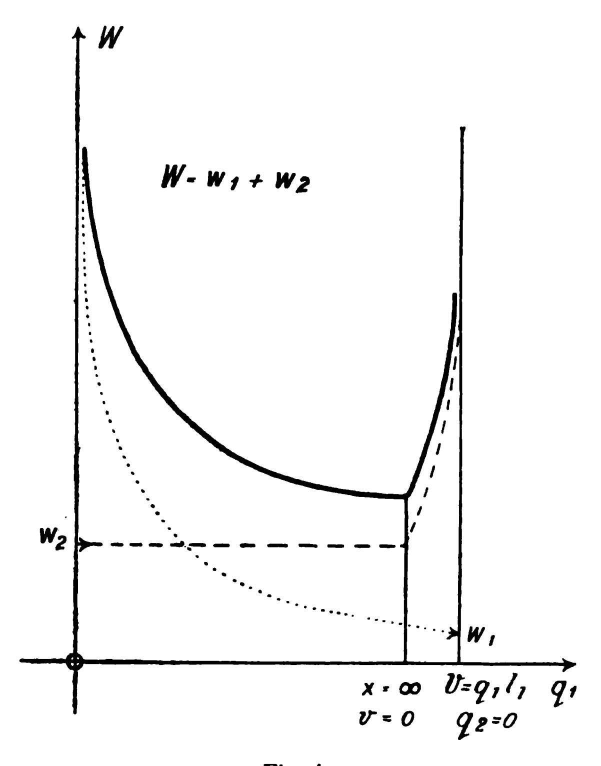


Fig. 4.

gekehrt Verengerung der Arterien grösseren Gesammtwiderstand und Adiaemorrhysis. Theoretisch können sich nun die Arterien bis zum völligen Verschluss verengern, dann wird $q_1 l_1 = v$ und $W = \infty$, und dem Liquor bleibt es unbenommen, das ganze früher von den Arterien eingenommene Volumen auszufüllen. Dagegen kann bei Erweiterung der Arterien der Liquor unter den angenommenen Bedingungen nur so lang abfliessen, bis gar keiner mehr da und $v = 0$ ist, ein negatives v ist ein Unsinn. Also kann der Gesammtwiderstand mit wachsendem q_1 nicht in infinitum wachsen, sondern nur bis zu dem

Punkt, wo aller Liquor verdrängt, das erreichte vergrösserte Volumen der Arterien $= q_1 l_1 + v$ geworden ist. Von da an bleibt bei wachsendem q_1 das Volumen der Venen und Capillaren nicht mehr unverändert; je mehr der arterielle Querschnitt noch weiter wächst, desto mehr wird jetzt der Querschnitt des venösen Theils verengt und nothwendig wächst damit der bis dahin constante Widerstand w_2 im venösen Theil. Zugleich allerdings nimmt der Widerstand w_1 im arteriellen Theil noch weiter ab, und es fragt sich, wie die Summe beider $W = w_1 + w_2$, der Gesammtwiderstand sich dabei ändert, ob etwa W noch einem weiter nach rechts gelegenen Minimum zustrebt. Die oben angestellte Analyse gibt darüber Aufschluss. Das Minimum liegt da, wo die Gleichung $w_1 = w_2 \frac{\nu l_1 q_1}{n l_2 q_2}$ erfüllt ist. Wenn nun, wie wir gezeigt haben, mit grosser Wahrscheinlichkeit schon normaler Weise w_1 für diese Gleichung zu klein ist, so trifft dies für die hier angenommenen Verhältnisse erst recht zu, denn bis zum Verschwinden des Liquor ist w_1 noch kleiner geworden und w_2 hat sich bis dahin nicht geändert. Also kann von diesem Punkte an ein weiteres Minimum nicht eintreten; jede weiter getriebene Vergrösserung von q_1 muss nothwendig den Gesammtwiderstand W erhöhen. Fig. 4 stellt dieses Verhalten graphisch dar. Aus dem Vergleich mit Fig. 3 geht zweierlei hervor. Erstens liegt das erreichbare Minimum des Widerstandes tiefer als wenn der Liquor cerebralis nicht ausweichen könnte; die Circulation kann besser werden, als je bei constant bleibendem v und zweitens: dieses Minimum liegt weiter rechts als in der Fig. 3; die Arterien können einen grösseren mittleren Querschnitt haben, bevor eine noch weiter gehende Vergrösserung derselben Ueberschreitung des Minimums und Adiaemorrhysis bewirkt. Umgekehrt wollen wir einmal annehmen, es sei gar kein Liquor cerebralis vorhanden, er sei z. B. durch Erweiterung der Arterien oder durch was Anderes, z. B. einen vorhandenen Tumor, verdrängt worden. Wenn sich jetzt die Arterien verengern, und kein Liquor sich bildet oder zuströmt, so muss der Gesammtwiderstand zunächst unter gleichzeitiger Erweiterung des venösen Theils abnehmen, die Circulation verbessert werden bis zu der oben mathematisch präcisirten Grenze; darüber hinaus kommt wieder erhöhter Gesammtwiderstand und Verschlechterung der Circulation. Wenn sich dagegen wieder Liquor cerebralis einstellt, zufliesst oder secernirt wird in gleichem Maasse, in welchem das Volumen der sich verengernden Arterien abnimmt,

so kann eine Verminderung des arteriellen Querschnittes den Gesammtwiderstand nur erhöhen, indem zwar die Arterien enger, Venen und Capillaren aber nicht weiter werden.

Leider können wir die Frage nicht beantworten, wie der Gesammtwiderstand sich ändert, wenn der arterielle Querschnitt und auch das Volumen des Liquor schwankt, letzteres aber in beliebigem Maasse, nicht pari passu mit der Volumschwankung der Arterien, so dass also $v + q_1 l_1$ nicht constant bleibt. Zur allgemeinen Lösung dieser Frage müssten wir die Constanten unserer Gleichung kennen. Dagegen lässt sich wohl angeben, wie der Gesammtwiderstand sich ändert, wenn das Volumen des Liquor cerebralis zu- oder abnimmt, sua sponte, durch vermehrte Secretion oder Resorption, ohne dass die Gefässe von sich aus ihr Volumen ändern. Es liegt auf der Hand, dass jede Vermehrung der cerebralen Flüssigkeit dem Volumen der Gefässe Abbruch thun und den Gesammtwiderstand erhöhen muss, gerade so, wie wenn V verkleinert worden wäre, z. B. durch einen wachsenden Tumor. Dabei werden ohne Zweifel zunächst, dann wenigstens in überwiegendem Maasse die Stellen der Gefässbahn verengt werden, an denen der niederste Blutdruck beruht und das sind, wie Grashey mit vollem Recht betont hat, die Einmündungsstellen der Venen in die starren, von aussen nicht zu comprimirenden Hirnsinus. Oberhalb dieser verengten Stellen wird sich das Blut in den Gefässen anhäufen, wird der Blutdruck steigen, eventuell höher werden als der auf den Venen lastende Aussendruck. Dann wird die Verengerung aufgehoben. Das Blut kann sich entleeren, der Blutdruck oberhalb sinkt, die Venen werden wieder comprimirt und so muss unter diesen Verhältnissen eine rhythmische Blutentleerung, ein Vibriren der Venen stattfinden, was Grashey auch in seinen schönen Versuchen experimentell erzeugen konnte. Bedingung für dieses Vibriren ist Steigen des intracerebralen Drucks, unter dem der Liquor steht, bis zu einer nicht zu geringen Compression der Venen, ohne dass aber der intracerebrale Druck dem arteriellen dauernd gleich kommt, so dass er also immer noch durch Drucksteigerung oberhalb der verengten Stelle an den Venen zeitweilig übertroffen werden kann. Immer aber bedeutet dies eine Verschlechterung der Circulation, wie ich gegenüber Grashey schon früher ausführlich dargelegt habe. Diese Verschlechterung erfolgt ohne Zweifel vorzüglich durch Erhöhung von w_2, den Widerstand im venösen Theil.

Im nämlichen Sinne wie zu- und abfliessender Liquor muss

natürlich ein entstehendes oder abnehmendes entzündliches Exsudat, ein wachsender oder sich verkleinernder Tumor auf die Circulation wirken.

Zum Schluss jetzt noch eine kurze Bemerkung zur ganzen Frage über die Circulation im Gehirn, soweit sie vom Kaliber der Gefässe und nicht von der Triebkraft des Herzens abhängt. Es ist ganz sicher, dass der Kreislauf im Gehirn unterbrochen wird, wenn entweder der Querschnitt der Arterien oder der der Venen = 0 wird. Ersteres geschieht durch maximale Verengerung der Arterien, gleichviel ob Liquor cerebralis da ist oder nicht, letzteres muss ebenso nothwendig eintreten, wenn die Arterien sich immerzu erweitern, auch gleichviel ob Liquor cerebralis da ist oder nicht; denn nimmt der ab mit Erweiterung der Arterien, so kann er nur bis zur Grösse 0 abnehmen, ein negativer Liquor ist eben ein Unsinn. Bis dahin konnten bei zunehmendem arteriellen Querschnitt die Venen ihren früheren Querschnitt behaupten, darüber hinaus müssen sie sich verengern und wenn ihr Lumen verschwindet, so hört jede Circulation auf. Es ist also unberechtigt zu sagen, dass jede Erweiterung der Arterien die Circulation verbessern müsse, von einem gewissen, von mir präcisirten Punkt an muss sie schlechter werden bis zur völligen Stase.

Der von mir aufgestellte Satz hierüber behält unter allen Umständen seine Richtigkeit. Der einzige Punkt, über den man vielleicht noch streiten kann, und der hoffentlich von einer besseren Experimentirkunst einmal richtig gestellt wird, betrifft die Frage, in welcher Lage zu dem sicher zwischen den beiden Grenzfällen gelegenen Minimum von Widerstand sich die Grösse des normalen Widerstandes befindet. Ist der arterielle Widerstand im Verhältniss zu der von mir aufgestellten Gleichung de norma zu gross, so bewirkt jede Verengerung der Arterien Adiaemorrhysis, jede Erweiterung zunächst und bis zum Minimum des Widerstandes Hyperdiaemorrhysis, darüber hinaus wieder Adiaemorrhysis. Ist das Minimum des Widerstandes in der Norm erreicht, so ist eine Verschlechterung der Circulation zu gewärtigen bei Verengerung der Arterien sowohl als bei Erweiterung derselben. Und ist drittens der arterielle Widerstand zu klein gegenüber dem in Capillaren und Venen im Verhältniss zu meiner Gleichung, so bewirkt Verengerung der Arterien zunächst und bis zum Minimum Besserung, jede Erweiterung der Arterien sicher Verschlechterung der Circulation. Meine Gründe, den Fall 3 anzunehmen, habe ich entwickelt. Das und nur das ist meine „Hypothese“.

Ganz sicher aber, und das ist mit apodictischer Sicherheit zu behaupten, lässt sich die Grösse des Widerstandes bei wachsendem, mittlerem arteriellen Querschnitt graphisch als eine nach oben concave Curve darstellen, die auf beiden Seiten ins positiv Unendliche geht und dazwischen ein Minimum hat, und zwar ganz gleichgültig, ob Liquor cerebralis zugegen ist, zu- und abfliesst oder nicht, nur die Lage des Minimums wird dadurch beeinflusst. Das gilt so lange als das Schädelvolumen, nicht der Liquor cerebralis constant bleibt, so lange der knöcherne Schädel geschlossen und starr ist und nicht aufgeblasen werden kann wie eine Seifenblase. Dass ein Trepanloch, wenn es nur gross genug ist und die harte Hirnhaut nachgiebig genug, die ganze Sache ändern kann, ist zu erwarten, dass evenuell der kindliche Schädel mit seinen offenen Fontanellen sich anders verhält, leicht möglich.

Zur Physiologie des Herzens und des Excretionsorganes der Heteropoden (Pterotracheen).

Von

Dr. **D. Rywosch** (Warschau).

Wir besitzen bereits eine ziemlich reiche Literatur über die Physiologie des Herzens der Mollusken. Die maassgebenden Arbeiten auf diesem Gebiete sind an die Namen von Förster, Ransom, Biedermann, Richard, Yung geknüpft. Sie haben uns viele interessante Thatsachen, besonders zur Aufklärung allgemeiner physiologischer Eigenschaften des Herzens, geliefert. Die meisten Versuche aber sind nicht an intacten Thieren ausgeführt worden, ja viele eigentlich nur am isolirten Herzen. Somit besitzen wir wenig Angaben über die physiologische Thätigkeit des Herzens als Organes im Körper der Mollusken, und demgemäss sind unsere Kenntnisse nach dieser Richtung hin verhältnissmässig sehr gering. Ein mehrwöchiger Aufenthalt in Villefranche-sur-mer (bei Nizza), wo sich ein russisches zoologisches Laboratorium, allerdings mehr für morphologische Studien eingerichtet, befindet, bot mir Gelegenheit, wenn auch nur theilweise, diese Lücke, an einem durchaus geeigneten Material, auszufüllen. Es dienten nämlich zu meinen Untersuchungen die pelagisch lebenden und als solche vollständig durchsichtigen Pterotracheen (Pterotrachea coronata und Pterotrachea mutica). Es sind langgestreckte, nackte (ohne Schale) Weichthiere, die ihre Form fast gar nicht verändern, vielmehr sind sie ziemlich starr. Zusammen mit Carinaria und Atlanta bilden sie die ziemlich abgeschlossene Ordnung der Heteropoden (Kielfüsser) innerhalb der Classe der Gastropoden (Bauchfüsser). In Folge ihrer Durchsichtigkeit lassen sich alle Organe durchblicken und eventuell in ihrer Thätigkeit beobachten. Als zweites begünstigendes Moment ist ihre bedeutende Grösse hervorzuheben — ein Moment, welches erheblich die Beobachtungen erleichtert. Neben der Durchsichtigkeit besitzen leider die Pterotracheen andere mit der pelagischen Fauna gemeinsame Eigenschaften, sie halten sich nämlich ziemlich schlecht in der

Gefangenschaft; besonders ist es das Herz, welches unter der Einbusse der Freiheit leidet. Es ist in Folge dessen bei den Herzuntersuchungen Vorsicht geboten. Die Thiere leben selbst bei öfterem Wechsel des Seewassers im Behälter (Glasschalen) zwei bis drei Tage, höchstens vier; die kleinere Art, Pterotrachea mutica, etwas länger, drei bis vier Tage, höchstens fünf; aber bereits am zweiten, ja am Ende des ersten treten schon Unregelmässigkeiten in der Herzaction auf. Diese äussert sich in einer Verlangsamung des Pulses, in oft auftretenden diastolischen Pausen, unvollkommenen Systolen, unterbrochen von Puls. bigemin., wobei auf eine Diastole zwei ungleiche Systolen kommen. — Die Beobachtungen, die hier mitgetheilt werden sollen, sind an demselben Tage, an welchem die Thiere aus der See gebracht worden sind, angestellt, und zwar bloss binnen der ersten drei bis vier Stunden nach dem Einfangen. Um den Thieren auch während dieser Zeit die bestmöglichen Bedingungen zu schaffen, ist es geboten, sie einzeln in den Behältern zu halten, nicht mehrere zusammen — besonders gilt dies für die grössere Art, Pterotrachea coronata —, erstens weil sie sich gegenseitig beschädigen können; zweitens, damit durch die eventuelle Beschmutzung eines einzelnen (Ausscheidung von Koth, Schleim) nicht das Wasser für die übrigen verdorben wird, und endlich, um den Thieren bessere Bedingungen für die Athmung zu schaffen. Was die anatomischen Verhältnisse anbetrifft, so sind sie ziemlich erschöpfend in der Gegenbaur'schen Monographie „Untersuchungen über Pteropoden und Heteropoden" behandelt worden. Das Herz besteht aus einer Kammer und einer Vorkammer; zwischen diesen sind lippenförmige Klappen eingeschaltet, deren Spiel man — besonders deutlich bei grösseren Individuen — mit blossem Auge ganz gut beobachten kann. Auch zwischen Kammer und Aorta ist eine Klappenvorrichtung angebracht; sie ist aus einer Duplicatur der Gefässwand gebildet, und ihr Schnellen, denn daran erinnert ihr Spiel am meisten, lässt sich leicht bei aufmerksamem Beobachten auch mit blossem Auge sehen, allerdings bloss bei sehr grossen Individuen, bei kleinen aber vermittelst einer Lupe.

Der Rhythmus.

Wir wollen jetzt die Bewegungen des Blutes durch das arbeitende Herz verfolgen. Nachdem der Vorhof sich mit Blut gefüllt hat, erfolgt seine Systole. Sie geht so rasch vor sich, dass sie den Eindruck einer blitzartigen Contraction macht. Sie nimmt für sich approximativ $^1/_{10}$—$^1/_{12}$ der ganzen Zeitdauer eines Herzschlages in Anspruch.

Gleich auf die Systole des Vorhofes folgt die Diastole des Ventrikels. Sie wird abgeschlossen durch das Vorspringen der Atrioventricularklappen, die sich lippenförmig an einander legen und dadurch den Verschluss der Ventrikelhöhle bewerkstelligen. In der Physiologie des Säugethierherzens wird allgemein der Verschluss der Atrioventricularklappen als Folge der systolischen Contraction der Herzkammer angesehen, und somit wird er gewöhnlich zu der Systole gerechnet. Bei den Pterotracheen, so viel es mir zu sehen gelang, gehört der Klappenverschluss zum Ende der Diastole, und zwar glaube ich es aus den hier anzuführenden Beobachtungen folgern zu können: Der Ventrikel besitzt das grösste Lumen nach dem Schluss der Klappen, was deutlich zu merken ist; ausserdem beginnt die Systole der Kammer fast immer mit einer Abflachung desjenigen Theiles, welcher in die Vorkammer vorgewölbt ist, und dieser Theil ist eben aus den an einander gelegten Klappen gebildet. Während der Diastole der Kammer ist die Aortenklappe zu; dieselbe schnellt aber sofort auf, wenn die Atrioventricularklappe sich schliesst. Die Systole dauert etwas länger als die Diastole, so lange die Thiere gesund sind. Dagegen ist die Diastole von längerer Dauer bei geschwächten Individuen, sei es in Folge einer längeren Gefangenschaft, oder in Folge verschiedener schädlicher Einwirkungen. Bei grossen Individuen sieht man deutlich die mit der Systole der Kammer isochrone Pulsation der Aorta, die sich durch den etwas gelblich gefärbten Inhalt innerhalb des wasserklaren Körpers abhebt. Bevor wir weitergehen, müssen wir noch eine Frage berühren. Wirkt der Ventrikel bei seiner Füllung mit Blut als Saugpumpe oder nicht? Dr. Straub führt in seiner Arbeit „zur Physiologie des Aplysienherzens" (Pflüger's Arch. Bd. 86 S. 530) ein Citat aus Mazzarelli's Aplysienmonographie an, wonach der Ventrikel als Saug- und Druckschlauch bezeichnet wird (come una tromba aspirante e premente e nelle sue diastole facendo un vuoto). Straub knüpft daran die Bemerkung: „Von einer Saugwirkung des Ventrikels kann natürlich keine Rede sein." Was das Pterotracheenherz anbetrifft, so lehrt die directe Beobachtung, und auch gewisse Ueberlegungen sprechen dafür, dass die Hauptrolle bei der Füllung des Ventrikels der Saugkraft desselben während der Ausbildung der Diastole zukommt. Erstens spricht dafür der Umstand, dass die Füllung des Ventrikels hauptsächlich während der Diastole des Vorhofes geschieht, die Systole des letzteren ist von zu kurzer Dauer, um den Ventrikel zu füllen; man sieht auch ganz deutlich das Anwachsen des Lumens des Ven-

trikels nach der Systole des Vorhofes. Zweitens passirt es oft, dass der Vorhof überhaupt keine Contractionen ausführt und der Ventrikel trotzdem ganz regelmässig arbeitet; er führt Diastolen und Systolen von normaler Weite aus, und bei grösseren Individuen sieht man dabei die Füllung und die Pulsationen in der Aorta. Dass der Vorhof bei unseren Thieren überhaupt eine schlechte Druck- resp. Presspumpe ist, ergibt sich auch aus seinem Bau. Schon Gegenbaur führt in seiner oben erwähnten Monographie an, dass der Vorhof durchlöchert ist und mit dem Pericardialraum communicirt. Man überzeugt sich leicht von der Richtigkeit dieser Angabe, wenn man einen Farbstoff in den Vorhof injicirt: der ganze Pericardialraum füllt sich mit diesem, während im Vorhof selbst wenig oder fast gar nichts bleibt. Was die Thätigkeit der Kiemenmuskulatur anbetrifft, so wird sie bloss ausreichen, um den Vorhof resp. den Pericardialraum mit Blut zu füllen resp. gefüllt zu halten. Weitergehend nimmt auch Straub ihre Thätigkeit nicht an. Wenn man der Action des Ventrikels genau zusieht, so erinnert er lebhaft an einen Gummiballon, welchen man, an seiner Oeffnung zusammengedrückt, in's Wasser bringt: das allmähliche Anschwellen und das Aufspringen der Ränder (die Klappen) der Oeffnung nach der Füllung. Die Aehnlichkeit beruht entschieden auf einer physikalischen Analogie: bei der Rückkehr des Herzens aus der Systole in die Diastole kommt die Elasticität der Wandung zur Geltung, und es würde sich in beiden Erscheinungen bloss um quantitative, nicht etwa um qualitative Unterschiede handeln. Bei der durchgehenden Aehnlichkeit in der Herzthätigkeit der Thiere müssen wir annehmen, dass im ganzen Thierreiche der Ventrikel in der Diastole eine grössere oder geringere Ansaugung ausüben wird. Wir finden auch demgemäss, dass selbst für das Säugethierherz mehrere Forscher, wie Gaule und Goltz, de Jager, Krehl, Tigerstedt, eine Ansaugung während der Rückkehr in die Diastole, wobei doch in geringerem oder grösserem Maassstabe die Elasticität der Herzwandung eine Rolle spielt, annehmen. Eigentlich ist es ziemlich einerlei, aus welchen Gründen die Diastole des Herzens zu Stande kommt, ob es Folge der Elasticität des Gewebes oder Folge der activen Thätigkeit der Muskeln ist; das Resultat ist dasselbe: es entsteht innerhalb eines Röhrensystems, in welchem Flüssigkeit unter einem Druck sich befindet, auf einer Stelle eine Erweiterung, und das verursacht ein Zuströmen von Flüssigkeit nach diesem Punkte hin, und bloss durch die Herzklappen ist dafür gesorgt, dass die Richtung eingehalten wird.

Es ist aus dem Standpunkte der Physik und Physiologie unverständlich, wie man die Ansaugung während der Diastole vollständig negieren kann, wie es Straub mit seiner Bemerkung zu thun scheint.

Nach dieser längeren Abschweifung kehren wir zurück zum Rhythmus der Herzthätigkeit, und wollen wir in Kürze seinen Verlauf beschreiben. Auf die Systole der Vorkammer folgt die Diastole der Kammer, darauf eine Zeit die Diastole beider Herztheile; dann beginnt die Systole der Kammer, während welcher die Vorkammer sich in Diastole befindet. Im Moment, wo die Systole der Kammer in ihre Diastole überzugehen sich anschickt, erfolgt die Systole der Vorkammer, die von sehr kurzer Dauer ist. Die Diastole der Vorkammer dauert also während der ganzen Zeit der Systole der Kammer und während eines grossen Theiles der Dauer der Diastole derselben. Aber selbst bei gesunden normalen Individuen wird dieser Rhythmus nicht immer eingehalten; so kann die Kammer regelmässige Pulsationen vollbringen, während die Vorkammer ruhig in Diastole verbleibt; es kommt auch vor, dass es umgekehrt der Fall ist, dass sich bloss die Vorkammer contrahirt, allerdings ist das nur der Fall bei geschwächten Thieren.

Auf diese selbständige Thätigkeit der beiden Herztheile bei Pterotrachea hat schon Ransom aufmerksam gemacht; Yung gibt ein ähnliches Verhalten auch für Helix pomatia an; nur muss ich hervorheben, dass ich eine selbständige Pulsation des Vorhofes bei gesunden Individuen niemals beobachten konnte.

Zahl der Pulsationen.

In Bezug auf die Zahl der Pulse bei unseren Thieren kann man ohne Weiteres dem, was Yung über diesen Punkt bei Helix pomatia angibt, zustimmen: die Zahl der Pulsationen ist abhängig von der Temperatur und von der grösseren oder geringeren Lebhaftigkeit der Thiere. Die Temperatur des Seewassers in den Monaten, während welcher ich arbeitete (zweite Hälfte Februar bis zum 6. April), variirte zwischen 13° — 14,5° C. Aus einem Mittel von 46 Exemplaren, deren Pulszahl ich notirt habe, ergibt sich für eine Minute die Pulszahl 48. Für erwachsene grosse Individuen ist diese Zahl vielleicht etwas zu hoch, und sie entstand dadurch, weil ich in der ersten Zeit die Pulszahl bei jungen Individuen nicht gesondert mit Angabe „jung“ notirte; denn das Alter übt ebenso, wie es für die Säugethiere nachgewiesen, einen Einfluss auf die Frequenz der Herzthätigkeit aus. Ich führe hier zwei Beobachtungen an, wobei

das Alter (Grösse), wenn auch ganz allgemein, in den Protokollen gegeben ist.

29. März. Temperatur des Seewassers 13,5 ° C. Pterotr. coronata ♀ (grosses Exemplar) Pulszahl 48. Pterotr. coronata ♀ (mittleres Exemplar) Pulszahl 54; Pterotr. coron. ♀ (kleines Exemplar) 62 Pulse.

31. März. Wasser 14,0 ° C. Pterotr. coron. (grosses Exemplar) Pulszahl 42. Pterotr. coron. (kleines Exemplar) Pulszahl 60.

Die höchste Pulszahl unter den 46 Individuen war 57, die niedrigste 36 in der Minute. Auf Grund meiner Erfahrungen glaube ich 45—46 Pulse pro Minute als diejenige Zahl annehmen zu können, die gesunde erwachsene Pterotr. coron. bei einer Temperatur von 13,5 ° bis 14,5 ° C. normal aufweisen. Eine höhere Zahl kommt bei jugendlichen Individuen vor, eine niedrigere dagegen bei geschwächten oder bei sehr grossen alten Exemplaren. Als Curiosum möchte ich noch erwähnen, dass bei der Zusammenstellung der Pulse nach den Geschlechtern sich aus den Protokollen eine höhere Pulsfrequenz für die Männchen ergibt, etwa um 2—4 pro Minute. Es wird wahrscheinlich darauf zurückzuführen sein, weil die Weibchen durchschnittlich länger und dicker sind als die Männchen. Das längere Verbleiben in der Gefangenschaft ist, wie wir bereits erwähnt haben, auch nicht ohne Einfluss auf die Pulszahl. Ich finde in meinen Protokollen einige Belege dafür.

19. März 9 h 25′ Morgens Pterotr. coron., Pulszahl 42.

19. März 4 h 50′ Nachmittags dasselbe Thier, Pulszahl 26—27.

Ich verfüge aus dem Jahre 1900, wo ich mich ebenfalls eine kurze Zeit in Villefranche aufgehalten habe, über eine Beobachtung, die, wie für Pterotr. coronata, so auch für Pterotr. mutica auf einige Tage ausgedehnt wurde.

15. März	Pterotr. coronata ♂	48	Pulse in einer Minute,
16. März	dasselbe Thier	33	„ „ „ „
17. März	„ „	20	„ „ „ „
18. März	„ „	16	„ am Abend todt.
15. März	Pterotr. mutica	68	Pulse in einer Minute,
16. März	dasselbe Thier	60	„ „ „ „
17. März	„ „	40	„ „ „ „
18. März	„ „	36	„ „ „ „
19. März	„ „	14	„ am Abend todt.

Die kleinere Art Pterotr. mutica weist eine höhere Pulsfrequenz auf, analog dem Verhalten bei anderen Thierklassen, z. B. bei den Säugethieren, wo bei kleineren Arten die Pulszahl höher ist. Knoll

gibt für diese Art als Mittel 67 an, wobei die geringste beobachtete Frequenz 50 betrug, die höchste 80. Bei meinen Beobachtungen schwankte die Frequenz zwischen 74—54, im Mittel 64—65. Dass die Gefangenschaft einen Einfluss auf die Frequenz auch bei dieser Art ausübt, ist aus der oben angeführten Beobachtung zu ersehen.

Der Einfluss der Temperatur.

Die Herzthätigkeit unserer Thiere wird, wie im ganzen Thierreiche, in hohem Grade von der Temperatur beeinflusst. Das bezieht sich nicht nur auf die Zahl der Herzschläge, sondern auch auf ihre Form. Was die Frequenz der Pulse anbetrifft, so finden wir bei den Pterotracheen die allgemeine Erscheinung bestätigt; die Pulszahl nimmt bei erhöhter Temperatur zu, bei niederer ab. Für die grössere Art, Pterotr. coron., war die höchste Pulszahl, die ich gezählt habe, bei 32 °, 160 in der Minute (bei 13,5 ° war sie 48), die niedrigste 14, bei einer Temperatur von 4 ° C. Ueber den Einfluss von noch niedererer Temperatur habe ich keine Versuche angestellt. Für die kleinere Art — Pterotrachea mutica — habe ich mehrere Mal die Zahl 200 aufzeichnen können bei einer Temperatur von 37—38 ° C. Knoll hat für dieselbe Art bei hoher Temperatur gegen 180 gezählt. Es lässt sich keine allgemeine Formel aufstellen, in welchem Verhältniss etwa die Zunahme der Zahl der Pulse zur Erhöhung der Temperatur steht; ganz allgemein scheint es nur zu sein, dass bei höheren Temperaturen auf einen Wärmegrad mehr Pulse kommen als bei niedrigeren. Ich entnehme meinen Protokollen aufs Geratewohl einige Beispiele:

1. Pterotr. coronata	13,5 °	— 50	Pulse	50 : 13,5	= 3,7,
	25 °	— 120	„	120 : 25	= 4,8,
	27 °	— 138	„	138 : 27	= 5,1,
	32 °	— 160	„	160 : 32	= 5,0;
2. Pterotr. mutica	15,5 °	— 60	Pulse	60 : 15,5	= 3,9,
	21,5 °	— 92	„	92 : 21,5	= 4,2,
	23 °	— 115	„	115 : 23	= 5,0.

Es ist durchaus individuell verschieden, bei welchem Temperaturgrad die höchste Pulsfrequenz, die, nebenbei gesagt, auch individuell variirt, erreicht wird. Bei einigen Thieren steigt sie bloss bis 28 ° C., bei den meisten aber stellt sie sich zwischen 30—33 ° C. ein; das gilt für die grössere Art, dagegen war die höchste Pulszahl für die kleinere Art erst zwischen 35—38 ° C. erreicht. Bei weiterem Erwärmen treten zunächst unregelmässige Pulsationen auf: Pausen

in Systole oder Diastole, unterbrochen von Gruppenpulsen zu 7—10, die nicht immer dasselbe Tempo einhalten, ferner Bigeminie, ungefähr so, wie es mehrfach für das Wirbelthierherz angeführt wird. Dagegen ist es nur selten gelungen, eine verzögerte Pulsfrequenz mit streng rhythmischer Schlagfolge während dieser Temperaturerhöhung festzustellen, wie es Knoll bei vielen Evertebraten und Flatow beim Froschherz beobachtet haben. Aus einer grossen Anzahl von Beobachtungen über Wärmeeinfluss konnte ich mit Sicherheit eine derartige Verzögerung des Tempos im Verlaufe von ein bis zwei Minuten bloss zwei Mal wahrnehmen. Das eine Mal sank die Frequenz, die bei 33° C. 150—156 betrug, bei Erhöhung der Temperatur bis 35° C. auf 84—90; das andere Mal fiel sie von 120° C. auf 78 unter denselben Verhältnissen; ausser diesen Minuten war der Puls so unregelmässig, wie es oben beschrieben worden ist. Diese unregelmässige Herzthätigkeit, die beim Erwärmen über gewisse Temperaturgrenzen hinaus auftritt, hält sich bloss innerhalb einiger Temperaturgrade, 2—3°. Wenn beispielsweise die höchste Pulsfrequenz bei 33° C. eintrat, so dauert die unregelmässige Thätigkeit des Herzens mit oder ohne verzögertes Tempo bloss von 35 bis 36° C. Bei diesen Temperaturen tritt mit einer geradezu staunenswerthen Präcision ein diastolischer Stillstand ein. Aehnliches hat schon Knoll an dem Herzen vieler Evertebraten beobachtet, und, wie es scheint, hat auch Stewart dasselbe am Froschherzen wahrgenommen. Auffallender Weise hat Knoll gerade bei den Pterotracheen nur ein Mal diastolischen Stillstand unter den angeführten Verhältnissen gesehen. Allerdings hat er an diesen Thieren wenig Beobachtungen gemacht; auch muss man aus seinen anderen Angaben auch den Eindruck gewinnen, dass er nicht vollständig gesunde Individuen vor sich hatte. Dieser diastolische Stillstand des Herzens kann sich mehr als eine Stunde halten, wenn man das Thier im selben Wasser lässt und dafür Sorge trägt, dass das Wasser sich nicht abkühlt. Beim allmählichen oder selbst beim directen Uebertragen in's kalte Wasser von 14,5—16,5° C. erholt sich das Herz nach einiger Zeit vollständig. Wird das Erwärmen weiter fortgesetzt, so tritt für die grössere Art, ziemlich präcis, gegen 38 bis 40° C. folgende Erscheinung ein. Das Herz contrahirt sich mit einem Ruck zur vollständigen Systole, verbleibt in dieser Stellung entweder sofort oder führt noch einige Contractionen mit verlangsamtem Tempo aus und kehrt erst dann zur nun bleibenden Systole zurück. Wenn dieser Zustand mehr als fünf Minuten anhält, ist das Herz irreparabel.

Dieser systolische Zustand kann sehr rasch hervorgerufen werden, wenn man das Thier direct in Wasser von über 40° C., etwa 41—42,5° C., überträgt, binnen 1—1½ Minuten. Bei den Temperaturen über 40° C., ja manchmal selbst bei 40° C., wenn es längere Zeit darin verbleibt, bemerkt man eine Aenderung am äusseren Aussehen des Herzmuskels: er wird trüb, undurchsichtig; der Muskel unterliegt bereits bei diesen Temperaturgraden jener chemisch-physikalischen Veränderung, die durch Wärme hervorgerufen wird — der Wärmestarre. Wenn wir uns in Kürze den Einfluss der Wärme vergegenwärtigen, so können wir folgende Reihe aufstellen. Zuerst tritt bis zu einem gewissen Temperaturgrade erhöhte Pulsfrequenz auf, bei weiterer Erwärmung Unregelmässigkeiten im Pulse — Pausen in Systole und Diastole, Gruppenpulse, Bigeminie, Stillstand in Diastole, bei noch höherer Temperatur endlich Systole, welche, wenn sie bis 5 Minuten dauert, zu einer Aufhebung der Herzfunction auf immer führt. Dauert aber die Systole bei 38—40° weniger als 3—4 Minuten, bei 42—43° C. weniger als ½ Minute, so kann sich das Herz noch ganz gut erholen. Nun ist es von Interesse, zu verfolgen, wie diese Erholung vor sich geht, und glaube ich am besten zu thun, wenn ich einfach eine derartige Beobachtung hier registrire. Pterotrachea mutica ♀ bei 15° C., 64 Pulse, 11^h. Auf ¼—1 Minute in Wasser von 40,5° gebracht. Stillstand in Systole. Der Muskel ist durchsichtig. Darauf wird das Thier in Wasser von 16,5° C. übertragen. Nach einigen Contractionen erweitert sich das Herz bis zur Diastole und verbleibt in diesem Zustande 3—4 Minuten. Darauf unregelmässige Pulsationen. 11^h 19′: 38—40 schwache Pulse, 11^h 35′: dasselbe Verhalten. Besonders ist die Systole sehr schwach ausgesprochen, wenn auch der Rhythmus ziemlich regelmässig ist.

11^h 45′. Auftreten von Pulsus bigeminus: auf eine Diastole zwei Systolen, die erste unvollkommen, so wie sie bisher war, die zweite schon eine vollkommene. 12^h 5′: 60 gute Pulse. Derartige Beobachtungen habe ich einige gemacht, und sie ergaben fast dasselbe. Vergleichen wir die Veränderungen am Herzen während der Temperaturerhöhung mit denjenigen, welche an demselben bei Rückkehr zur normalen Temperatur vor sich gehen, so fällt uns auf, dass ihnen zwei Momente gemeinsam sind: der diastolische Stillstand und die Bigeminie, abgesehen von den anderen Unregelmässigkeiten. Es scheint also, als ob das Herz, wie auf dem Wege zur Erschöpfung, so auch auf dem Rückwege zu seiner Erholung dieselben Etappen, dieselben Zustände durchmachen muss. Was den Einfluss der Wärme

auf die Art des Herzschlages anbetrifft, so ist es hauptsächlich der Tonus, der sich ändert. In der ersten Zeit der Erwärmung sieht man oft keine Vermehrung der Pulse, sondern nur eine grössere Ausgiebigkeit derselben: die Systole ist viel vollkommener, auch ist es die Diastole, die sich jäh vollzieht, wie es Knoll ganz richtig angibt. So verfüge ich über zwei Beobachtungen an Pterotrachea mutica, wobei einmal bei 13,5° C. warmem Wasser die Pulszahl 60 war und bei Erwärmung auf 15,5° C. die Frequenz dieselbe blieb, nur die Herzschläge ausgiebiger waren, das andere Mal bei 14,5° C. die Pulszahl 58, bei 16,5° C. 58–60 war, also fast dieselbe Frequenz, aber wieder die Systole und die Diastole vollkommener ausgesprochen waren. Bei höheren Temperaturen, welche die Frequenz bedeutend erhöhen, werden die Excursionen des Herzschlages eingeschränkt, besonders auf Kosten der Diastolen, während die Systolen vollkommene sind. Bei Kältewirkung, d. h. bei Temperaturen unter 13,0° C., werden dagegen die Systolen schwach ausgesprochen, wenn auch die Diastolen nicht immer ihre normale Weite erreichen; also ganz allgemein kann man sagen, dass unter dem Einfluss der Wärme die Diastolen an Umfang geringer, dagegen unter dem Einflusse der Kälte es die systolischen Contractionen sind, die schwach ausgesprochen werden. Gegen 8° C. hin wird die Herzthätigkeit unregelmässig: Pausen in Diastolen, Auftreten von Pulsen in Gruppen von 5—8 mit stark verzögertem Tempo. So hält es sich bis 4° C., unter welcher Temperatur mir keine Beobachtungen vorliegen. Ein gewisses Interesse dürfte ein Vergleich im Verhalten der anderen Muskeln des Organismus gegen Wärme mit dem des Herzens beanspruchen. Knoll gibt an, dass bei Pterotrachea, auch bei anderen Evertebraten, die er untersucht hat, zuerst die Körpermuskulatur unter Einfluss der Wärme erlahmt, darauf erst das Herz; am längsten widersteht aber die Darmmuskulatur dem Abtödten resp. lähmenden Einfluss der Wärme. Die letzte Behauptung in Betreff der Darmmuskulatur kann ich ohne Weiteres bestätigen. Dagegen stimmen meine Erfahrungen nicht mit denen Knoll's in Bezug auf die ersten Angaben überein. Ich verfüge über mehrere darauf gerichtete Beobachtungen, die ergeben, dass bei den Pterotracheen es das Herz ist, welches früher, als die übrigen Muskeln des Körpers unter der Einwirkung der Wärme sich erschöpft resp. erlahmt. Ich führe eine derartige Beobachtung an, um es besser zu veranschaulichen. Eine Pterotrachea mutica auf ½ Minute in Wasser von 43—44° C. gebracht. Zunächst kleine Pulsationen in Systole, darauf Stillstand in Systole,

wobei das Herz etwas getrübt wird. Uebertragen darauf in Seewasser von 17° C.

Nach einiger Zeit treten Bewegungen des Fusses auf, das Thier schwimmt frei umher, Darmperistaltik, die auch früher nicht aufgehört hat, lebhaft; das Herz aber verbleibt im früheren Zustande, keine Spur von Pulsationen. Selbst nach 1½ Stunden keine Spur von Erholung; dagegen lebt das Thier ziemlich flott weiter. Zwei Mal war ich in der Lage, vermittelst Lupe festzustellen, dass der Ventrikel früher als der Vorhof erlahmt, und zwar ebenfalls an Pterotr. mutica. — Pterotr. mutica in Seewasser bei 41—42° 1—1½ Minuten gelassen. Das Herz in Systole, etwas getrübt. Darauf in Wasser von 16—17° übertragen. Das Thier erholt sich; es treten Bewegungen des Fusses auf; die Darmperistaltik, die bei 42° sehr lebhaft war, wird etwas ruhiger, dagegen verbleibt das Herz in systolischer Zusammenziehung, wie ein weisslicher Klumpen. Bei Lupenbetrachtung sieht man, dass der Ventrikel, ohne irgend welche Volumänderungen auszuführen, hin und her sich bewegt; es erwies sich aber bei näherer Betrachtung, dass die Ursache dieser Bewegungen die Pulsationen des Vorhofes waren.

Wir begegnen hier einer seltsamen Erscheinung: das Thier lebt bei eingebüsster Herzthätigkeit sehr gut weiter. Emil Yung erwähnt in seiner Monographie eine Angabe von Richard, derzufolge Helix pomatia ohne Herz drei bis vier Tage herumkriecht, frisst und ganz gut weiter lebt. Yung gibt zu, dass das Leben und die Contractilität des Thieres im Winter selbst vier bis fünf Tage ohne Herz erhalten bleiben kann; aber das Thier zieht sich dabei zusammen, zieht seine Tentakeln ein und liegt so bewegungslos auf der Seite, um darauf in dieser Lage zu verenden.

Im Jahre 1900 habe ich Pterotracheen das Herz entfernt und sah sie bei öfterem Wechsel des Wassers drei bis vier Tage ganz munter und lebhaft sich bewegen wie normale Thiere, die, wie bereits erwähnt, unter denselben Bedingungen ebenfalls nicht länger am Leben zu erhalten sind. Oft führt die Natur selbst dies Experiment aus, es werden nicht selten aus der See verletzte Individuen ohne Schwanz und Herz, oder auch bloss ohne Herz, gebracht, und diese Thiere gebärden sich vollständig wie gesunde.

Einfluss des Nervensystems.

Es ist bis jetzt noch keinem Forscher gelungen, irgend welche Nervenelemente, weder Nervenzellen noch Nervenfasern, in den

Herzwandungen der Schnecken mit Sicherheit nachzuweisen. Wir finden auch desswegen, dass das Herz der Schnecken, wie mancher anderer Wirbellosen, neben dem nervenlosen embryonalen Herzen der Wirbelthiere, nicht selten zur Stütze der myogenen Lehre der Herzthätigkeit angeführt wird. Bei unseren Pterotracheen hat Knoll ebenfalls im Herzen vergebens nach Nervenelementen gesucht, und ich kann noch mittheilen, dass der Zoologe Somoff, der gleichzeitig mit mir in Villefranche das Nervensystem der Pterotracheen untersuchte, ebenfalls keine derartigen Elemente im Herzen, nach der Methylenblaumethode, auffinden konnte.

Zu gleicher Zeit aber haben Alle, die das Schneckenherz beobachtet haben, den Eindruck gewinnen müssen, dass die Thätigkeit des Herzens doch unter dem Einflusse des Nervensystems stehe. Knoll äussert sich, allerdings nicht nur in Betreff des Schneckenherzens, sondern in Betreff des Herzens anderer Wirbellosen (Tunicaten, Crustaceen), dass er überrascht war, keine Nervenelemente darin gefunden zu haben, nachdem er sich mehrere Male überzeugt hatte, dass jede Beunruhigung der Thiere die Herzthätigkeit nicht unwesentlich alterirt. Aehnliches geben auch Yung und Biedermann für Helix pomatia an; jeder Reiz von der Peripherie übt einen deutlichen Einfluss auf das Herz aus. Ich habe dasselbe bei den Pterotracheen beobachten können. So lange das Thier ganz intact und gesund ist, beeinflusst jeder Reiz, Beunruhigung mit dem Spatel, Ergreifen mit der Pincette oder der Hand die Herzthätigkeit in eigenthümlicher Weise. Das Herz bleibt in halber Diastole stehen; dabei entsteht nicht selten eine eigenthümliche Contractionswelle quer über das Herz, und das letztere erscheint wie längsgerippt und macht den Eindruck, als ob es rollende Bewegungen um die Längsachse ausführe; das Volumen des Herzens ändert sich dabei aber nicht, und also sind auch keine Pulsationen vorhanden; ein anderes Mal reagiert das Herz durch unregelmässige Pulse mit verzögertem Tempo. Bei weiterer Untersuchung konnte ich aber feststellen, dass die nothwendige Bedingung zum Zustandekommen dieses Phänomens die Intactheit des Oesophagealganglions ist; wird dieses vordem entfernt, so ruft der Reiz entweder keine Veränderung in der Herzaction hervor oder aber, wenn der Reiz stark genug ist, eine erhöhte Frequenz. Dieser Versuch wird schliesslich theilweise ebenfalls in der Natur gemacht: es werden manchmal aus der See Exemplare ohne Rüssel und Oesophagealganglion gebracht: bei diesen Thieren ruft jeder Reiz gewöhnlich eine sofortige Beschleunigung der Herz-

thätigkeit hervor oder ändert an derselben nichts. Am deutlichsten sieht man den Unterschied bei Einwirkung von Wärme. Wird dem Thiere, bevor es ins warme Wasser gebracht wird, das Oesophagealganglion entfernt, so entsteht sofort die Beschleunigung der Pulse; bringt man dagegen ein intactes Thier in warmes Wasser, so entstehen in der ersten Minute Unregelmässigkeiten im Pulse, Pausen in Diastole, manchmal auch in Systole, und erst darauf tritt die erhöhte Frequenz ein. Diese Unregelmässigkeiten sind vermuthlich Hemmungserscheinungen, deren Mechanismus vom Oesophagealganglion beherrscht wird. Ransom, der, wie alle Anderen, im Herzen keine Nervenelemente gefunden hat, gibt doch an, einen Nerven bei den meisten Schnecken gefunden zu haben, dessen Reiz Stillstand resp. verlangsamtes Tempo hervorruft; er nennt ihn Hemmungsnerv. Yung hat bei Helix diesen Nerv mit Inductionsströmen gereizt und konnte nur die Angaben von Ransom bestätigen. Er bekam dasselbe Resultat, wenn er direct das Oesophagealganglion reizte. Gerade aber für Pterotrachea hebt Ransom hervor, einen derartigen Nerven nicht gefunden zu haben, und glaubt auch demgemäss annehmen zu können, dass bei diesen Thieren das Herz nicht unter dem Einflusse der Nerven stehe. Es waren die äusseren Bedingungen nicht genug günstig, um die Wirkung der Reizung einzelner Nerven zu prüfen, und ich kann desswegen die Ransom'schen Angaben weder widerlegen noch bestätigen, muss aber anführen, dass es mir bei directer Reizung des Oesophagealganglions mit einem Inductionsstrom doch gelang, einen Stillstand in Diastole hervorzurufen. Da ich Untersuchungen mittelst Induktionsströmen nicht in genügender und einspruchsloser Weise ausgeführt habe resp. ausführen konnte, so musste ich mich bloss mit Exstirpationsversuchen begnügen. Aber auch diese ergeben ganz deutlich, dass das Nervensystem die Herzthätigkeit verschiedentlich beeinflusst. Jede Exstirpation des Oesophagealganglions ruft eine Pulsverlangsamung hervor, die einige Zeit anhält; dabei sind aber die Pulse viel kräftiger; besonders ist es die Systole, die an Energie zunimmt; darauf entsteht mehr oder weniger deutliche Beschleunigung. Das Merkwürdige ist, dass zwischen diesen beiden Perioden mit verzögertem und beschleunigtem Tempo sich immer eine Periode von mehr oder weniger kurzer Dauer, mit unregelmässigen Pulsen, einschiebt. Die Periode mit verzögertem Tempo tritt viel deutlicher hervor, wenn man ausser dem Oesophagealganglion auch das Pädalganglion exstirpirt; allerdings wird dabei, wie es scheint, die Periode mit beschlennigtem Tempo undeutlicher. Ich möchte hier einige

Beobachtungen anführen. 1. Pterotr. coronata ♂. 54—56 Pulsschläge in der Minute. Exstirpation des Gangl. oesophag. Zunächst bessere Pulsationen mit verzögertem Tempo. 46 Pulse in der Minute. Darauf treten Unregelmässigkeiten im Pulse auf. Nach zehn Minuten wieder gute Pulse, 60—62 in der Minute. 2. Pterotr. coronata ♀. Pulszahl 54. Nach der Exstirpation des Ganglions: die ersten vier Minuten Pulszahl 48—50. Unregelmässigkeiten zwei bis drei Minuten. Darauf 68—70 gute Pulse. 3. Pterotr. coronata ♀. 49 Pulse in der Minute. Exstirpation beider Ganglien, Gangl. oesophag. und Gangl. paedale. Nach einer Minute Pulszahl 32—33. Binnen zehn Minuten erholt sich das Herz, und der Puls wird wieder 49—50, aber die Herzschläge energischer. Ich besitze noch eine Beobachtung aus dem Jahre 1900, die bei mir unter Nr. 22 verzeichnet ist, wo ebenfalls beide Ganglien exstirpirt wurden. 28. März: Pterotr. coronata, Pulszahl 38 in der Minute, Exstirpation beider Ganglien, zunächst Verlangsamung (die Pulszahl nicht angegeben). Nach fünf Minuten Herz 44 Pulse. Sollten wir den Versuch machen, uns die Erscheinungen, die nach der Exstirpation der Ganglien eintreten, zu erklären, so scheint uns am nächstliegenen die folgende Muthmaassung zu sein. Der Reiz, der bei der Exstirpation der Ganglien ausgelöst wird, wirkt einige Zeit nach und ruft die Verlangsamung hervor. Dass das Oesophagealganglion das Hemmungscentrum für das Herz darstellt, das ergibt sich aus der directen Reizung dieses Ganglions. Das Auffallende ist allerdings die lange Dauer dieser Nachwirkung. Es sei noch hier erwähnt, dass viele Beobachtungen an Evertebraten, wie an Cephalopoden (v. Uexküll) und an Anneliden (Loeb) darzuthun scheinen, als ob im Oberschlundganglion ein Hemmungscentrum für die gesammte somatische Muskulatur vorhanden sei. Wir müssen weiter annehmen, dass auch auf das Herz dieses Ganglion constant eine Hemmungswirkung ausübt, indem wir sehen, dass wenn seine Wirkung ausgeschaltet wird, das Herz mit rascherem Tempo als sonst pulsirt. Es würde also analog dem Vaguscentrum bei den Wirbelthieren thätig sein. Was die Unregelmässigkeiten im Pulse, die zwischen den Perioden auftreten, anbetrifft, so handelt es sich hauptsächlich um rasche Abwechslung zwischen Pulsen mit verzögertem und beschleunigtem Tempo; der Uebergang aus einer Periode in die andere geschieht nicht direct, es folgt vielmehr zuerst in gewisser Beziehung ein Kampf zwischen den beiden Herzzuständen, der mit dem Sieg der Periode mit beschleunigtem Tempo endet. Wenn wir nach dem Angeführten den Einfluss des Nervensystems

nicht leugnen können, so bleibt es immer unbegreiflich, auf welchem Wege dieser Einfluss dem Herzen übermittelt wird. Straub vermuthet, dass die Ursache dieses Einflusses auf die Wirkung der Körpermuskulatur zurückzuführen sei: durch ihre Thätigkeit werde mehr resp. weniger Blut ins Herz getrieben (die Schnecken haben kein geschlossenes Blutgefässsystem) und dadurch die Füllungspannung geändert, und dieser Umstand beeinflusst ja hauptsächlich die Herzthätigkeit. Diese Erklärung würde im besten Falle für das contractile Aplysium, für welches Straub seine Theorie auch aufstellt, eventuell noch für Helix und ähnliche Schnecken passen, nicht aber für Pterotrachea, deren Körper sehr wenig contractil, ja fast ganz starr ist. Ausserdem müsste man ja eine Aenderung in der Füllung wahrnehmen, und das ist nicht immer der Fall. Wir müssen es also der Zukunft überlassen, uns über diesen Punkt Aufklärung zu verschaffen; wir können aber doch nicht umhin, die Hoffnung zu äussern, dass es noch gelingen wird, einen Nerven, der zum Herzen geht, aufzufinden. In der Umgebung des Herzens sind Nervengeflechte im Pericardium vorhanden; auch habe ich derartige in der Umgebung des Bulbus Aortae bei Pterotrachea gesehen; von diesen Geflechten könnte immerhin ein winziger Nerv zum Herzen abgehen, der sich noch der Untersuchung entziehen könnte.

Einfluss der Gifte.

Noch viel lückenhafter als über die anderen hier erörterten Fragen sind meine Beobachtungen in Bezug auf den Einfluss der Gifte auf die Herzthätigkeit. Theilweise liegt es daran, dass mir zu diesen Untersuchungen wenig Zeit blieb, theilweise scheint aber diese Frage an und für sich viel complicirterer Natur zu sein und mehr Schwierigkeiten zu bieten als die vorherigen. Ebenfalls beschränkt war für mich auch die Wahl der Gifte — es standen mir zur Verfügung Atropin, Strychnin, Cocaïn und Chloroform. In geringen Dosen wirkt Atropin wie auch Strychnin beschleunigend auf die Zahl der Pulse, dabei sind die Systolen bei den mit Atropin Vergifteten unvollkommen ausgesprochen; dagegen sind dieselben bei den Thieren, denen Strychnin eingespritzt wird, sehr gut ausgebildet, ja die systolischen Contractionen sind erheblich stärker, als bei normalen Thieren, nur erreichen aber die Diastolen nicht ihre normale Weite. Bei grösseren Dosen tritt Verlangsamung der Frequenz mit Pausen in Diastole oder Systole und endlich Stillstand ein. Nun sieht man, dass bei diesen Dosen, die zum Stillstand des Herzens führen, die

Herzwandungen trüb und undurchsichtig werden, so dass wir annehmen müssen, dass diese Gifte direct schädigend auf die Muskulatur des Herzens einwirken, wobei sie eine tiefe chemische Veränderung derselben hervorrufen. Bei Einwirkung von Cocaïn habe ich ein Stadium mit beschleunigtem Tempo nicht wahrgenommen, aber bei starker Concentration (3 ccm 5 % Cocaïn. mur. auf 200 ccm Seewasser) wirkt Cocaïn dilatär auf das Herz: das Herz bleibt todt und irreparabel. Dabei bleiben aber die Herzwandungen vollständig durchsichtig wie früher; somit scheint der Cocaïneinfluss auf den Herzmuskel nicht so tiefer chemischer Natur zu sein wie bei Atropin und Strychnin. Ungeheuer empfindlich ist das Herz gegen Chloroform. Die Dosirung von Chloroform habe ich auf folgende Weise vorgenommen. Einige Tropfen von Chloroform wurde in eine grosse 1½-Literflasche von Seewasser hineingegossen und darauf eine längere Zeit stark geschüttelt, bis das Wasser einen starken Chloroformgeruch angenommen hat, darauf zwei bis drei Tage gut verschlossen vor dem Versuch stehen gelassen und am Tage des Versuches, einige Stunden vor diesem, wiederum durchgeschüttelt. Von diesem Chloroformwasser wurden gemessene Theile zu dem Seewasser, in welchem das Thier sich befand und, dessen Menge ebenfalls bekannt war, zugegeben. Selbst beim Verhältniss von Chloroformwasser zu Seewasser wie 1:15 merkt man schon Unregelmässigkeiten im Pulse, lange Pausen in halber Diastole usw. An einigen Exemplaren gelang es allerdings, bei diesem Verhältniss eine geringe Beschleunigung wahrzunehmen. Bei einer Pterotr. coronata, bei welcher der Puls vor der Einwirkung 49—51 war, stieg seine Frequenz bis zu 57—58. Charakteristisch für die Chloroformwirkung ist die schwache Ausbildung der Diastolen, ganz gleich, ob eine Beschleunigung oder Verzögerung mit Pausen von verschiedener Dauer stattfindet. Ferner dürfte vielleicht ein gewisses Interesse beanspruchen, dass die anderen Muskeln des Organismus sich gegen Chloroform viel resistenter erweisen. In solchen Lösungen, wo das Herz bereits zusammengeschrumpft liegen bleibt, wie etwa im Verhältniss 1:6 oder 1:7, ist noch Peristaltik wahrzunehmen. Eine auffallende Erscheinung am Darme wäre noch zu erwähnen: bei mittleren Concentrationen, 1:8, 1:9, erfolgt fast immer Defäcation. Auch die Körpermuskulatur ist viel resistenter. Bei Verhältnissen von Chloroformwasser zu Seewasser beispielsweise wie 1:9 sieht man das Herz in systolischer Contraction kaum wahrnehmbare Pulsationen ausführen; dagegen sind die Bewegungen des Fusses und des Rüssels ganz gut erhalten.

Das Excretionsorgan.

Gleich hinter dem Herzen, näher den Kiemen zu, befindet sich ein contractiler Sack, der seit jeher von den Zoologen als Excretionsorgan bezeichnet wird, obschon bis jetzt kein genügender Grund für diese Bezeichnung vorliegt. Gegenbaur vermuthet, dass diesem Organ eher die Function zukomme, den Organismus mit Wasser zu versorgen. Man hat derartige Vorrichtungen bei vielen Mollusken beschrieben (Leidig, Schiemenz, Carneri), allerdings nicht in Form von contractilen Säcken. Um die Gründe, die Gegenbaur für seine Vermuthung anführt, besser zu verstehen, müssen wir in Kürze den Bau dieses Sackes kennen lernen. Dieser Sack, aus Muskel- und Bindegewebe aufgebaut, ist ausgekleidet von einem Epithel, welches theilweise mit Wimpern bedeckt ist. Das Organ besitzt zwei Oeffnungen, die mit Klappen versehen sind; durch die eine Oeffnung findet eine Communication mit dem umgebenden Medium statt; die andere Oeffnung communicirt mit dem Pericardialraum. Bringt man in der Umgebung der äusseren Oeffnung während der Pulsationen des Organs Tusche, so sieht man ganz deutlich, wie sie zusammen mit dem Wasser in's Innere des Organs hineinströmt: eine Beobachtung, die jeder mit Leichtigkeit bestätigen kann. Gegen die Gegenbaur'sche Auffassung trat in der letzten Zeit besonders Joliet (Compt. rend. t. 97 p. 1078—1080) auf. Er gibt ohne weiteres die Richtigkeit der Gegenbaur'schen Beobachtung zu; nur glaubt er, dass sie noch wenig zu bedeuten hat, es müsste vielmehr der Beweis erbracht werden, dass die Flüssigkeit auch weiter in den Pericardialraum befördert werde. Nun beobachtete er, dass die Tusche, welche während der Erweiterung des Organs in dasselbe hineingelangt, nach einiger Zeit, nach fünf bis sechs Contractionen, wieder dasselbe verlässt und kein Körnchen (aucune particule colorée) in den Pericardialraum eindringt. Dagegen, wenn er durch das Excretionsorgan unter Anwendung eines geringen Druckes die Tusche in den Pericardialraum brachte, so füllte sich bei jeder Diastole das Excretionsorgan mit der chinesischen Tusche, bis allmählich das Herz und die Umgebung frei davon wurden. Dadurch glaubt er bewiesen zu haben, dass ein Strom aus dem Pericordialraum nach aussen stattfindet, nicht aber umgekehrt. Ferner führt er noch als Stütze für seine Auffassung an, dass der Schlag der Wimpern nach der äusseren Oeffnung gerichtet ist. Bei näherer Betrachtung aber scheint es uns, dass die Gründe,

die Joliet anführt, nicht genug stichhaltig sind. Dass die Tusche nach dem Einströmen mit der Flüssigkeit in das Organ nicht weiter in den Pericardialraum eindringt, ist so ziemlich selbstverständlich; es ist durch den Wimperschlag — für Flüssigkeitszufluss wäre es kein Hinderniss —, durch die Klappe an der inneren Oeffnung, durch die schleimige Beschaffenheit des Epithels des Organs dafür gesorgt, dass keine Partikelchen in's Herz und die Blutgefässe hineingelangen könnten, es ist aber dadurch durchaus nicht der Beweis erbracht, dass auch Wasser nicht hineinströme nach dem Pericardialraum. Der Versuch, den Joliet als beweisend erachtet, dass thatsächlich ein Strom aus dem Paricardialraum nach aussen, durch das sogenannte Excretionsorgan, stattfindet, ist nicht genug stichhaltig. Er konnte durch seine Injection unter Druckanwendung einfach die Klappe resp. die Wandungen der Umgebung des Pericardialraumes zerrissen haben und dabei könnte allerdings ein Ausströmen von Flüssigkeit aus dem Pericardialraum während der Erweiterung des Organs stattfinden. In der jüngsten Zeit (Zool. Anz. 27) suchte Fahringer im Organ vergebens nach Excretstoffen.

Die Beobachtungen und Versuche, die ich angestellt habe, führten ebenfalls zu keinem endgültigen Resultat. Ich habe bis jetzt keine Beweise, wie für die excretorische Natur dieses Organes, so auch für einen eventuell stattfindenden Strom aus dem Pericardialraum nach aussen erbringen können. Dagegen scheinen ausser der angeführten Gegenbaur'schen Beobachtung auch manche Ueberlegungen dafür zu sprechen, dass dieses Organ thatsächlich Wasser aus der Umgebung schöpfe und es weiter in den Körper befördere. Im Gegensatz zum Herzen scheint bei diesem Organ nämlich die Diastole die active Phase auszumachen. An todten Individuen findet man stets das Herz in diastolischer Erweiterung; dagegen ist das Volumen des „Excretionsorganes" bei solchen Thieren viel geringer, als es in Diastole ist. Ferner ist nicht zu vergessen, dass dieses Organ nicht immer pulsirt, vielmehr beginnen seine Contractionen von Zeit zu Zeit, aber nicht etwa in bestimmten Perioden, sondern ganz unregelmässig. In den Ruhepausen ist nun das Volumen des Organes fast ebenso gross, wie es bei todten Individuen ist. Die Pulsationen beginnen immer damit, dass das Organ sich zuerst erweitert, und während seiner Erweiterung springt in der Regel die Klappe der äusseren Oeffnung auf, und die Communication mit dem umgebenden Medium ist hergestellt. Bei der darauf folgenden Zusammenziehung wird die Oeffnung wieder

geschlossen. Bei einem derartigen Mechanismus wäre ein Flüssigkeitszufluss aus dem Innern des Körpers nach dem Organ zu mechanisch geradezu unverständlich. Wenn wirklich dieses Organ, wie es Joliet will, Flüssigkeit aus dem Körper schöpfen soll, müsste ja während seiner Erweiterung die äussere Klappe geschlossen sein, um sich erst bei der folgenden Systole zu öffnen; das ist aber entschieden in den meisten Fällen nicht der Fall. Dagegen ist dieser Mechanismus wohl verständlich, wenn man die Richtung des Stromes von aussen nach dem Innern des Körpers annimmt. Es würde von diesem Standpunkte auch der Wimperschlag der Epithelzellen, die das Organ auskleiden, verständlich sein, wie ich es bereits betont habe; auch ist das zum Theil schleimige Epithel an der Arbeit, corpusculöse Elemente vorm Eindringen in's Blut zurückzuhalten, betheiligt. Man sieht die Zellen des Organes nach Versuchen mit Tusche mit schwarzen Körnchen gefüllt. Ob aber diesem Organ bloss diese Function zukommt oder nebenbei noch eine andere, und zwar vielleicht wirklich eine excretorische, ist bis jetzt wenigstens mit Sicherheit nicht zu entscheiden. Ich betonte früher, dass „in der Regel" sich die Contractionen so abspielen, wie ich es oben beschrieben habe. Nun fand ich einmal, auf 17 Beobachtungen, bei der Diastole die äussere Klappe geschlossen. Das Exemplar war allerdings nicht vollständig gesund, denn die Beobachtung ist gemacht worden am zweiten Tage nach der Gefangenschaft, wo das Herz bloss 21 Pulse anstatt der 44 am vorhergehenden ausführte. A priori wäre jedenfalls die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass unter Umständen das Organ auch Wasser aus dem Organismus schöpfen könnte, indem während seiner Erweiterung die äussere Klappe sich schliesse und erst bei der Systole sich öffne. Es müssten hier mehr Beobachtungen und eventuell auch Versuche angestellt werden. Ein gewisses allgemeines physiologisches Interesse dürfte dieses Organ noch dadurch beanspruchen, dass wir hier ein muskulöses Hohlorgan vor uns zu haben scheinen, das sich activ erweitern kann. Es müssten hier genaue anatomische Untersuchungen, eventuell auch Versuche angestellt werden, wozu es mir aber leider bis jetzt an Zeit mangelte. Was die Pulsationen selbst anbetrifft, so finden wir bei Gegenbaur die Angabe, dass dieses Organ oft vollkommen rhythmisch und in gleichem Tempo mit dem Herzen schlage. Ich habe nie die Möglichkeit gehabt, einen derartigen Synchronismus zu bemerken. Ich greife hier voraus und stelle den allgemeinen Satz auf, dass

zwischen der Herzthätigkeit und den Pulsationen des Organes ein gewisses reciprokes Verhalten existire: je kräftiger das Herz arbeitet, desto schwächer und seltener sind die Contractionen des Organes und umgekehrt. Solange bei den Thieren die Zahl der Herzschläge nicht unter 40 sinkt, bekommt man selten die Pulsationen des „Excretionsorganes" zu sehen. Man muss manchmal selbst eine Stunde und länger warten, bis das Organ zu pulsiren beginnt, und auch dann dauert es manchmal nicht länger als ein bis zwei Minuten dass es wieder in den Ruhezustand verfällt; auch sind die Pulse wenig frequent, zehn bis zwölf in der Minute. Erst wenn das Herz geschwächt wird, zehn bis zwölf Stunden nach dem Einfangen, besonders aber am anderen Tage, tritt die Thätigkeit dieses Organes viel energischer auf, und oft übertrifft dann die Zahl seiner Pulsationen selbst die Zahl der Herzschläge. Aber selbst unter diesen Umständen finden die Pulsationen des Organes nicht continuirlich statt, sondern stets in Pausen von verschiedener Dauer, zwischen welchen es in systolischem Zustande ruhig verbleibt. Ich verfüge noch über einige Beobachtungen aus dem Jahre 1900. Bei einer Pterotr. coron., bei welcher am 19. März, am Tage des Einfangens, die Herzpulse 48—50 waren, Excretionsorgan still; am 20. März Pulse des Herzens 15, Pulse des Excretionsorgans 22. Ein gewisses Interesse dürfte der Einfluss der Wärme auf die Thätigkeit dieses Organes beanspruchen. Bei mässiger Wärme, bei welcher die Herzthätigkeit sehr energisch ist, die Systolen und die Diastolen gut ausgebildet und die Frequenz 80—90 in der Minute steigt — das tritt ungefähr bei 22—23° C. ein —, bleibt das Excretionsorgan still. Wird das Wasser aber weiter erwärmt, so beginnen auch die Pulsationen des Organes, und zwar werden sie viel frequenter als sie vor der Wärmeeinwirkung waren. So erreicht ihre Zahl bei 30° 80—85° C., während das Herz bei dieser Temperatur durchschnittlich 120—125 Pulse ausführt. Die wenigen Beobachtungen, die ich anstellte, um den Einfluss des Nervensystems auf dieses Organ zu studiren, ergaben, dass dieser Einfluss ein grosser ist; bis jetzt aber bin ich nur imstande ganz allgemein zu sagen, dass die Exstirpation des Oesophagealganglions seine Thätigkeit steigert. Was die Giftwirkung anbetrifft, so scheinen die von mir untersuchten Gifte seine Thätigkeit zu paralysiren, selbst in denjenigen Dosen, welche die Herzthätigkeit anzuregen scheinen.

(Aus dem chemischen Institute der Kgl. ung. tierärztlichen Hochschule Budapest.)

Über die osmotische Arbeit der Nieren.

Von

Dr. **Ladislaus von Rhorer.**

(Mit 1 Textfigur.)

Die osmotische Arbeit der Nieren (s. w. u.) verdient, sowohl vom praktischen, wie auch vom theoretischen Standpunkte aus, beachtet zu werden. Die Bearbeitung der praktischen, klinisch-diagnostischen Seite der Frage ist das Verdienst Alexander v. Korànyi's[1]) und seiner Schule. Ich denke, dass die Sache von dieser Seite hinreichend bekannt ist, und verweise nur auf die ausführliche Darstellung im Handbuche Hamburger's[2]) und in der Monographie von Kövesi und Róth-Schulz[3]).

Um so weniger kann behauptet werden, dass die Frage von der theoretischen Seite her aufgeklärt sei. Die Bestimmung des Begriffes der osmotischen Arbeit der Nieren und die ersten diesbezüglichen Berechnungen haben wir Dreser[4]) zu verdanken. Indessen sind diese Berechnungen, wie es aus dem weiteren hervorgehen wird, derart wenig übersichtlich, dass sie, wie Hamburger (l. c. II. 390) betont, „von vielen nicht recht verstanden worden sind". Und dass dies selbst Hamburger nicht gelungen ist, zu dessen Illustrierung genügt es wohl zu erwähnen, dass er die Arbeit der Verfertigung von 200 ccm Harn mit einer Gefrierpunkterniedrigung von 2,3° C., die laut Dreser 37 mkg beträgt, auf 263,5 mkg berechnet. In noch gesteigertem Masse ist Dreser's Gedankengang von Köppe[5]) missverstanden worden, der demselben gleichzeitig

1) Zeitschr. f. klinische Medizin Bd. 33 H. 1. u. 2.

2) Osmotischer Druck und Ionenlehre in der Medizin.

3) Kövesi und Róth-Schulz, Pathologie und Therapie der Niereninsuffizienz bei Nephritiden. Leipzig 1904.

4) Arch. f. exp. Path. und Pharm. Bd. 29 S. 303. 1892.

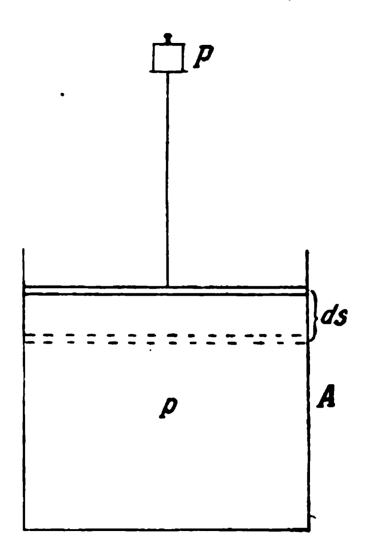
5) Deutsche med. Wochenschr. 1903 S. 817.

eine Reihe fehlerhafter Folgerungen angeknüpft hat. Schliesslich berechnet die Arbeit der Nieren bei experimentellen Nephritiden, wenngleich etwas einfacher, doch im Prinzipe auf dieselbe Weise, wie Dreser, Galeotti[1]). Die Berechnungen sowohl des letzteren, wie die von Dreser, sind an und für sich richtige, ergeben jedoch nicht die Arbeit der Harnerzeugung, sondern nur eine Arbeit, die zur Erzeugung einer dem Harn gleich konzentrierten Flüssigkeit aus dem Blute notwendig ist, d. h. eine Arbeit, die zur Erzeugung eines eingedichteten Blutserums erforderlich ist. Bei der Bestimmung der tatsächlichen osmotischen Arbeit der Nieren ist nicht bloss die gesamte Molekularkonzentration, sondern auch die partiellen Konzentrationen der einzelnen Harnbestandteile zu beachten; werden dieselben, wenigstens hinsichtlich der Hauptbestandteile, in Betracht gezogen, so erhält man für die Arbeit der Nieren einen, den bisher berechneten mehr als um das Doppelte übersteigenden Wert. Einerseits infolge dieses Umstandes, andererseits infolge der erwähnten Missverständnisse hielt ich es für gerechtfertigt, den ganzen Gedankengang, auf dem die Berechnung beruht, sowie die Berechnung selbst, in dem folgenden in möglichst leicht verständlicher Form zusammengefasst zu schildern.

Der Grundgedanke von Dreser ist folgender: die Nieren verfertigen aus dem Blute unter normalen Verhältnissen einen Harn, dessen Konzentration im allgemeinen bedeutend höher, ausnahmsweise aber auch geringer, als jene des Blutes ist; sie erzeugen dementsprechend im allgemeinen Konzentrationsdifferenzen, infolgedessen sie dem osmotischen Drucke gegenüber, der gerade diese Differenzen auszugleichen sucht, eine Arbeit vollführen müssen. Diese Arbeit ist die osmotische Arbeit der Nieren, welche durch dieselben mit Hilfe von uns gänzlich unbekannten Kräften dem osmotischen Drucke gegenüber ausgeführt wird, so dass sie eigentlich osmosenwidrige Arbeit genannt werden sollte, und deren Wert auf Grund des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik und der van't Hoff'schen Gesetze des osmotischen Druckes, auch ohne Kenntnis des die Arbeit leistenden Mechanismus, bestimmt werden kann. Behufs dessen wollen wir — auf die Analogie, die zwischen den Gesetzen der Lösungen und Gase besteht, gestützt — am zweckmässigsten aus einem, sich auf ein Gas beziehenden Beispiele ausgehen.

1) Engelmann's Arch. 1902 S. 200.

Bekanntermassen bedarf man zur Kompression der Gase eines gewissen Arbeitsaufwandes, wogegen dieselben während ihrer Ausdehnung eine gleichwertige Arbeit leisten können. Der Wert dieser Arbeit lässt sich auf folgende Weise berechnen: Nehmen wir an, dass A ein Reservoir darstellt, das ein Gas mit einem Drucke p enthält; dasselbe ist nach oben mit einem verschiebbaren Stempel verschlossen, über welch letzterem sich ein luftleerer Raum befindet. In diesem Falle beträgt der gesamte, auf den Stempel ausgeübte Druck des Gases (vorausgesetzt, dass die Fläche des Stempels gleich f ccm beträgt) $P = p \cdot f$ und die Arbeit, welche zur Verschiebung des Stempels um den unendlich kleinen Betrag ds nötig ist, ergibt sich zu $dA = P \cdot ds = p \cdot f \cdot ds = p \cdot dv$, indem $f \cdot ds$ gleich der Volumänderung des Gases, also gleich dv ist.



Diese Berechnungsweise kann nur bei unendlich kleinen Volumänderungen angewendet werden, wo der Druck p des Gases während der Veränderung als konstant angenommen werden darf. Mit Hilfe der Integralrechnung lässt sich aber auch die zu einer endlichen Volumänderung nötige Arbeit berechnen, wenn man nur weiss, auf welche Weise sich der Druck verändert, wenn sich das Volum verändert, d. h. wenn wir wissen, welche Funktion des Volums der Druck darstellt. Dann ist die zur Kompression vom Volum v_1 auf v_2 nötige Arbeit

$$A = \int_{v_1}^{v_2} p \cdot dv.$$

(Diese Arbeit ist negativ, da bei der Kompression Arbeit nicht gewonnen wird, sondern verrichtet werden muss.) Bleibt während der Veränderung die Temperatur konstant, so wissen wir im Sinne des Boyle-Mariotte'schen Gesetzes, dass $p \cdot v =$ Konstante, und zwar ist der Wert dieser Konstante bezüglich 1 Grammmolekül aller Gase (2 g H., 32 g O. usw.).

$K = RT$, wobei R die allgemeine Gaskonstante (ihr Wert beträgt 0,0821 Literatm. = 1,991 g Kal. = 0,848 mkg) und T die absolute Temperatur ($T = 273 + t^0$ C.) bedeuten.

Demgemäss ist $pv = RT$

d. h. $p = \frac{RT}{v}$

wird das in die obige Formel eingesetzt[1]),

$$A = -RT \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v} = + RT \int_{v_2}^{v_1} \frac{dv}{v} = RT \log \text{nat} \frac{v_1}{v_2}$$

$$= 2{,}303 \cdot RT \log^{10} \frac{v_1}{v_2} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

wenn man die natürlichen Logarithmen auf Brigg'sche umrechnet.

Setzt man noch an Stelle von R die oben angegebenen Werte dieser Konstante und die entsprechenden Werte der absoluten Temperatur ein, so erhält man bei 37° C. = 310° absoluter Temperatur.

$$A = 58{,}61 \log \frac{v_1}{v_2} \text{ Literatm.} = 1421{,}4 \log \frac{v_1}{v_2} \text{ g Kal.}$$

$$= 605{,}5 \log \frac{v_1}{v_2} \text{ mkg.} \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

Der Wert dieser sogenannten Maximal- (resp. Minimal-)arbeit ist vom Wege unabhängig, d. h. es ist gleichgültig, ob z. B. die Ausdehnung kontinuierlich oder abschnittsweise vor sich geht, vorausgesetzt, dass die Veränderung isotherm und reversibel, also bei konstanter Temperatur, und auf die Weise stattfinde, dass die Kompression beispielsweise durch Herabnahme eines minimalen Übergewichtes wieder rückläufig gemacht werden kann. Dies ist deshalb erforderlich, damit kein Teil der Arbeit infolge störender Umstände in Verlust gehe, sich z. B. infolge der Reibung nicht in Wärme umwandle, da in diesem Falle die aufzuwendende Arbeitsmenge naturgemäss grösser erscheinen wird.

Die aufgezählten Erwägungen sind auch der Ausdehnung und Kompression von Lösungen gegenüber gültig. Enthält auf der vorherigen Abbildung das Reservoir A eine Lösung, und ist der Stempel aus einem (semipermeablen) Stoffe verfertigt, der das Lösungsmittel (Wasser) durchlässt, den gelösten Stoff dagegen nicht, so wird der letztere, indem er sich auf dieselbe Weise auszudehnen sucht, wie im vorerwähnten Falle das Gas, auf den Stempel einen sogenannten

1) und werden ausserdem die Integrationsgrenzen vertauscht, damit man für die zu verrichtende Arbeit einen positiven Ausdruck erhält. In diesem Falle ist nämlich die strenge Bezeichnungsweise, bloss die vom System abgegebene Arbeit als positiv zu rechnen, überflüssig, da Missverständnisse in dieser Beziehung nicht auftreten können.

osmotischen Druck ausüben und denselben, wenn sich darüber reines Lösungsmittel (Wasser) befindet, in die Höhe schieben.

Hinsichtlich des osmotischen Druckes hat van't Hoff nachgewiesen, dass er nur von der sogenannten osmotischen Konzentration (Hamburger), d. h. von der Zahl der in 1 Liter gelösten Moleküle und Ione, und von der Temperatur abhängt und ebenso gross ist, als würde der gelöste Stoff den betreffenden Raum in Gasform ausfüllen, dass demzufolge zwischen osmotischem Druck und Volum dasselbe Verhältnis

$$p \cdot v = RT$$

besteht, wie bei den Gasen und der Wert des R in bezug auf 1 g Molekül[1]) eines beliebigen Stoffes auch hier 0,0821 Literatm. = 1,991 Kal. = 0,848 mkg beträgt. Demgemäss wird die (minimale) Arbeit, welche zur Kompression eines Grammmoleküls von v_1 auf v_2 zu verrichten ist, durch dieselben Gleichungen (2) wie bei den Gasen gegeben.

Die Veränderung muss auch hier eine isotherme und ausserdem reversible sein, dementsprechend man jeden durch Reibung usw. erzeugten Verlust vermeiden soll. Doch hat die Reversibilität hier noch eine Bedingung, jene nämlich, dass die den Stempel bildende Membran in der Tat semipermeabel sei, d. h. nur das Lösungsmittel durchlasse, den gelösten Stoff hingegen zurückhalte. Passiert (diffundiert) nämlich, wie es tatsächlich vorzukommen pflegt, auch ein geringerer oder grösserer Teil des gelösten Stoffes die Membran, so ist dieser Teil in bezug auf die Kompression in Verlust gegangen, auf dieselbe Weise, wie jener Teil des Gases, der neben dem Stempel oder allerdings durch eine Öffnung desselben ausströmt. In diesem Falle wird die zur Kompression erforderliche Arbeit grösser sein, ebenso, wie bei einer Kompressionsluftpumpe, deren Ventile nicht gut schliessen (das einmalige Hinunterdrücken des Stempels geschieht natürlich leichter, wenn derselbe nicht gut schliesst, doch lässt sich eine gewisse Gasmenge unter ähnlichen Verhältnissen nur auf Kosten einer gesteigerten Arbeit auf ein bestimmtes Volumen komprimieren).

Nach dieser rein physikalischen Einleitung wollen wir auf unsere eigentliche Aufgabe, auf die Bestimmung der osmotischen Arbeit der Nieren übergehen. Die Nieren erzeugen aus dem Blute, dessen osmotische Konzentration etwas weniger als ein Drittel beträgt (d. h. es sind in 3 Liter Blut 1 Grammmoleküle + Ionen gelöster Stoffe

1) Entstehen infolge der Dissoziation des gelösten Stoffes aus einer Grammmolekül $i = 1 + (n - 1)\alpha$ Mol. + Ione, so steigt auch der Wert der Arbeit auf das i-fache des Obigen.

enthalten), unter normalen Verhältnissen einen ca. dreimal konzentrierteren Harn, d. h. sie komprimieren die gelösten Stoffe auf ein ungefähr dreimal geringeres Volumen, wodurch der osmotische Druck auf das Dreifache gesteigert wird; dementsprechend kann diese Kompression nur durch eine Arbeitsleistung der Nieren zustande kommen. Ohne dass uns der Mechanismus der Kompression bekannt wäre, sind wir fähig, die Grösse der dazu erforderlichen minimalen Arbeit zu bestimmen, da dieselbe von dem Wege, auf dem die Veränderung erfolgt, unabhängig ist und bloss vom Anfangs- und Endzustand abhängt. Erzeugen dementsprechend die Nieren so viel Harn (mit einem Volumen v_2), dass derselbe insgesamt gerade 1 Mol. der verschiedenen Bestandteile enthält, und wird diese Harnmenge aus einer Blutmenge mit einem Volumen v_1 verfertigt, so beläuft sich die durch die Nieren verrichtete Arbeit laut der Formel (1) auf

$$A = 2{,}3\, RT \log \frac{v_1}{v_2}.$$

An Stelle der Volumina ist es hier zweckmässiger, mit (Mol. + Ionen-)Konzentrationen zu rechnen; wird die Lösung, deren Konzentration c_1 und Volumen v_1 beträgt, auf eine Konzentration c_2 und ein Volumen v_2 komprimiert, so wird sich die Menge der gelösten Stoffe inzwischen natürlich nicht verändern, folglich ist $c_1 v_1 = c_2 v_2$, d. h. $\frac{v_1}{v_2} = \frac{c_2}{c_1}$. Da ferner mit der osmotischen Konzentration einerseits der osmotische Druck (p), andererseits die Gefrierpunkterniedrigung (Δ) in geradem Verhältnisse stehen, kann an Stelle des $\frac{c_2}{c_1}$ auch $\frac{p_2}{p_1}$, bezw. $\frac{\Delta_2}{\Delta_1}$[1]) gesetzt werden. Demgemäss beläuft sich die minimale Arbeit, welche die Nieren verrichten müssen, wenn sie aus dem Blute, dessen Gefrierpunkterniedrigung Δ_1 beträgt, einen Harn mit einer Gefrierpunkterniedrigung Δ_2 (in einer Menge, die gerade 1 Mol. enthält) erzeugen, bei 37° C. laut Formel (2) ebenfalls auf

1) $\frac{\Delta_2}{\Delta_1}$ bedeutet eigentlich das Verhältnis der Konzentrationen bei 0°; bei 0° C. ist $\frac{c_2}{c_1} = \frac{\Delta_2}{\Delta_1}$; das Verhältnis der Konzentrationen muss bei 37° C. nicht notwendigerweise dieselbe sein, wie die 0° entsprechende Relationszahl, indem z. B. der Grad der Dissoziation zwischen 0° und 37° C. in einer Lösung eine grössere Veränderung erleiden kann, als in einer anderen. Indessen können derartige Abweichungen getrost ausser acht gelassen werden.

$$\left.\begin{aligned} A &= 58{,}61 \log \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \text{ Literatm.} \\ &= 1421{,}4 \log \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \text{ Grammkal.} = 605{,}5 \log \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \text{ mkg} \end{aligned}\right\} \ldots \quad (3).$$

Die derartig gewonnenen minimalen Arbeitswerte sind neuerdings nur bei isothermen und reversiblen Veränderungen gültig. Die Harnbildung ist tatsächlich ein isothermer Prozess; sie erfolgt nämlich bei konstanter (37 ° C.) Temperatur. Ausserdem geht sie genügend langsam vor sich, so dass der Reibung ähnliche Verluste nicht in Betracht kommen. Doch lassen sich die durch die unvollständige Semipermeabilität verursachten Verluste nicht ausschliessen, und würde auf dieselbe Weise die Rückdiffusion eines jeden einmal bereits ausgeschiedenen Moleküls in das Blut (oder die Reabsorption derselben) die Grösse der Arbeit steigern.

All die obigen Berechnungen beziehen sich auf 1 Mol. Wird statt 1 Mol. das n-fache desselben komprimiert, so steigt auch der Wert der Arbeit auf das n-fache. Die Zahl der in einem gewissen Volumen enthaltenen Moleküle lässt sich am leichtesten aus der Gefrierpunkterniedrigung Δ bestimmen, da in v Liter der Lösung $n = \frac{\Delta \cdot v}{1{,}85}$ Mol. enthalten sind.

Sind uns daher das Volumen und die Gefrierpunkterniedrigung der Lösung vor der Kompression, d. h. v_1 und Δ_1, oder nach der Kompression, d. h. v_2 und Δ_2, bekannt, so lässt sich auch der Wert der Arbeit berechnen. Es sind z. B. v_1 Liter Blut, dessen Gefrierpunkterniedrigung $\Delta_1 = 0{,}56\,^0$ C. ist, $\frac{0{,}56\, v_1}{1{,}85}$ Mol. oder in v_2 Liter Harn, dessen Gefrierpunkterniedrigung Δ_2 beträgt, $\frac{v_2\, \Delta_2}{1{,}85}$ Mol. enthalten[1]). Wird folglich das durchschnittliche Δ des Harns für 1,85 ° C. angenommen (laut v. Korányi bewegt sich dieser Wert zwischen 1,3—2,2 ° C.), so beträgt die bei der Erzeugung von täglich 1,5 Liter Harn verrichtete osmotische Arbeit der Nieren nach (3)

$$\begin{aligned} A &= \frac{1{,}5 \cdot 1{,}85}{1{,}85} \cdot 58{,}61 \log \frac{1{,}85}{0{,}56}, \\ &= 45{,}6 \text{ Literatm.,} \\ &= 1106 \text{ Grammkal.,} \\ &= 471 \text{ mkg.} \end{aligned}$$

1) In bezug auf zusammengehörige Mengen von Blut und Harn sind die beiden Grössen vollkommen gleich, da $v_1 : v_2 = \Delta_2 : \Delta_1$.

Dreser[1]), der die ersten derartigen Berechnungen angestellt hat, erkannte ganz richtig, dass die Wassermenge, die bei der Kompression der im Blute gelösten Moleküle sozusagen frei wird, im Blute zurückbleibt und auf diese Weise die ganze Blutmenge verdünnt. Diese Verdünnung ist natürlich bloss eine geringfügige, hat keine Veränderung der Blutkonzentration zur Folge, lässt sich aber dennoch zur Gewinnung einer Arbeit verwenden und ist folglich bei der Berechnung der (minimalen) Arbeit zu berücksichtigen: In unserem obigen Beispiele sind zur Erzeugung von 1·5 Liter Harn $1{,}5 \cdot \frac{1{,}85}{0{,}56} = 4{,}955$ Liter Blut notwendig; die Summe der darin gelösten Moleküle ergibt die festen Bestandteile des Harns; indessen werden bloss 1,5 Liter des Wassers ausgeleert, demzufolge 4,955—1,5 = 3,455 Liter zur Verdünnung des Blutes dienen; dies erfolgt auf die Weise, dass sich die im Blute gelösten Moleküle bei einem konstanten Drucke, welcher der Gefrierpunkterniedrigung 0,56° C. entspricht, folglich bei einem Drucke von $\frac{25{,}45 \cdot 0{,}56}{1{,}85} =$ 7,7 Atm. auf ein, um 3,455 Liter grösseres Volumen ausdehnen, was einen Arbeitgewinst von 7,7 · 3,455 = 26,6 Literatm. mit sich bringt; dieser Wert ist demzufolge dem Werte der durch die Nieren zu verrichtenden Arbeit abzurechnen, demgemäss sich die tägliche Arbeit der Nieren bloss auf

---

1) In den Dreser'schen Rechnungen fehlen fast überall die Bezeichnungen der Dimensionen der betreffenden Grössen, und man kann auch die Ergebnisse der verschiedenen Beispiele, die er berechnet, keineswegs miteinander vergleichen. So berechnet er die Arbeit, die erforderlich ist, um 100 ccm einer 0,9%igen NaCl-Lösung auf eine 3%ige zu komprimieren, zu $A = 108{,}36$ (l. c. S. 309) und die zur Erzeugung von 24 ccm Harn erforderliche zu $A = 79{,}11$ (l. c. S. 310). Die erstere scheint somit grösser zu sein, während in denselben Einheiten ausgedrückt die erste Arbeitsmenge 8,43 mkg, die letztere 9,7 mkg beträgt. Der Fehler ist durch Weglassen des Proportionalitätsfaktors in den Gleichungen S. 307 entstanden, und bei der Berechnung der Nierenarbeit ist er von Dreser korrigiert worden, so dass sein Endresultat S. 307 in dieser Beziehung vollkommen richtig ist. Die Bemerkung Galeotti's, dass die Dreser'sche Formel den der Temperatur entsprechenden Faktor nicht enthalte, ist insofern zu modifizieren, dass die Dreser'schen Rechnungen auf 0° C. bezogen sind, und Galeotti hat vollkommen recht, wenn er statt dessen dieselben auf Körpertemperatur beziehen lässt.

$$A = 45 \cdot 6 - 26{,}6 = 19 \text{ Literatm.}, = 460 \text{ Kal.}, = 196 \text{ mkg.},$$

d. h. auf ca. 200 mkg oder 460 Grammkal. beläuft[1]).

Hinsichtlich der Produktion eines Harns, der dünnflüssiger ist als das Blut ($\Delta < 0{,}56^{\circ}$ C), erkennt Dreser sehr richtig (siehe S. 311), dass man hier einem, vom vorerwähnten etwas abweichenden Prozesse gegenübersteht, indem die Nieren im letzteren Falle aus dem höher konzentrierten Blute gegen den niedriger konzentrierten Harn Wasser ausscheiden. Dreser betrachtet den zwischen Blut und Harn bestehenden Druckunterschied als konstant und berechnet, nachdem er denselben aus dem Unterschiede der Δ des Blutes und Wassers ausgerechnet hat, die zur Abpressung von v kcm Wasser diesem Druckunterschiede gegenüber notwendige Arbeit. Der dünnste Harn, den er nach Genuss von 1,5 Liter bayrischen Bieres beobachtet hatte, zeigte eine Gefrierpunkterniedrigung $\Delta = 0{,}16^{\circ}$ C.; folglich wäre, da der Gefrierpunktsdifferenz von $0{,}56 - 0{,}16 = 0{,}40^{\circ}$ C. ein Druckunterschied von $0{,}40 \cdot 122{,}7 = 49$ MH_2O entspricht, zur Erzeugung von v Liter Harn eine Arbeit von 49 v mkg erforderlich. Doch bedarf diese Dreser'sche Berechnung einer Ergänzung. Man muss sie nämlich auf dieselbe Weise korrigieren, wie auch bei der Berechnung des konzentrierten Harns der erste Wert 79 mkg auf 37 (S. 309) reduziert werden musste. Dreser berechnet nämlich nur die Arbeit der Auspressung des reinen Wassers aus einer Lösung mit einem $\Delta = 0{,}56^{\circ}$ C. in eine andere, deren $\Delta = 0{,}16^{\circ}$ C. ist.

Doch enthält der Harn auch gelöste feste Bestandteile, deren Rolle Dreser ganz ausser acht lässt und die, in eine geringere Konzentration übergehend, eine Arbeit verrichten können, wodurch ein

1) Der ganze Gedankengang, auf welchem diese Dreser'sche Korrektion beruht, ist von Köppe (l. c. S. 817) vollständig missverstanden worden. Dass er bei der Berechnung des Dreser'schen Beispiels trotzdem ein richtiges Resultat erhält, das hat er einem glücklichen Rechenfehler zu verdanken. Er berechnet nämlich auf Grund der richtig aufgestellten Formel $A = \frac{2{,}3 \cdot 0{,}2}{1{,}85} \cdot 22{,}35$ (log 2,3 — log 0,56) $\cdot$ 2,3026 Literatm. die nötige Arbeitsmenge zu $A = 37{,}15$ mkg (die Literatm. durch Multiplikation mit 10,33 auf Meterkilogramm umgerechnet), anstatt 81,12 mkg, indem er log 2,3 — log 0,56 anstatt für 0,6135 für 0,3036 (und ausserdem das Produkt der übrigen Faktoren für 12,11 anstatt 12,796) annimmt. Doch stimmt dieser fehlerhafte Wert mit den durch Dreser nach der erwähnten Korrektion gefundenen 37,037 mkg zufällig gut überein, worauf Köppe stolz behauptet, seine Rechnung sei viel einfacher!

Gewinst an Arbeit entsteht, infolgedessen die durch die Nieren zu verrichtende minimale Arbeit geringer sein wird, als die durch Dreser berechnete.

Im Dreser'schen Falle gelangen mit 1 Liter $n = \frac{1 \cdot 0{,}16}{1{,}85}$ Mole aus dem Blute ($\Delta = 0{,}56$) in den verdünnten Harn ($\Delta = 0{,}16$); die zu gewinnende Arbeit beträgt somit nach (3) $A = \frac{1 \cdot 0{,}16}{1{,}85} \cdot 605{,}5 \cdot \log \frac{0{,}56}{0{,}16} = 28{,}5$ mkg, also die zur Produktion von 1 Liter verdünnten Harns aufzuwendende Arbeitsmenge nur 49—28,5 = 20,5 mkg statt den von Dreser berechneten 49 mkg.

Der den niedrig konzentrierten Harn betreffende Gedankengang Dreser's wurde von Köppe gänzlich missverstanden: „Hiermit verwischt Dreser die Einheitlichkeit seines Begriffes der osmotischen Nierenarbeit“ (l. c. S. 818). Deshalb wendet er auch an dieser Stelle die vorerwähnte Formel: $A = nRT \operatorname{lognat} \frac{\Delta_2}{\Delta_1}$ an, was in diesem Falle, nachdem $\Delta_2 < \Delta_1$ ist, einen Gewinst an Arbeit bedeutet, also: „Daraus geht ohne weiteres hervor, dass die osmotische Arbeitsleistung der Niere sich nicht so glatt berechnen lässt, wie es den Anschein hatte.“ Ich denke, dass es aus dem Obigen zur Genüge erleuchtet, wie diese Einwendung gänzlich grundlos ist.

Sodann folgt Köppe folgendem Gedankengange: stellen wir uns vor, dass aus den Harnwegen sämtlicher Harn abgeflossen sei, so kann von keiner osmotischen Harnausscheidung die Rede sein. „Osmotische Energie ist nicht imstande, von einer Flüssigkeit einen Teil in einen nicht von Flüssigkeit erfüllten Raum abzuscheiden.“ Folglich wird der Ausdruck: „osmotische Arbeit der Nieren“ von ihm gänzlich missverstanden. Dieser Ausdruck bedeutet nämlich nur so viel, dass die Nieren gegen den osmotischen Druck eine Arbeit verrichten, und infolgedessen die Grösse dieser Arbeit sich auf Grund der Gesetze des osmotischen Druckes bestimmen lässt, will indessen keinesfalls behaupten, dass die Nieren ihr Sekret mit Hilfe von osmotischen Kräften erzeugen. Im Gegensatze wirken die osmotischen Kräfte der Harnproduktion entgegen, demzufolge es überflüssig ist, die zumindest fragliche Möglichkeit in Betracht zu ziehen, laut welcher aus den Harnwegen sämtlicher Harn abgeflossen wäre: die Arbeit der Nieren besteht immer in der Erzeugung von Konzentrationsdifferenzen, dementsprechend der osmotische Druck, der die Differenzen auszugleichen sucht, diesem Prozesse

stets entgegenwirkt, weshalb die osmotischen Kräfte das Wesen der Nierenfunktion keineswegs erklären. Die Natur jener Kräfte, die die Konzentrationsdifferenz schaffen, ist uns ganz unbekannt, doch lässt sich die Grösse ihrer Arbeit dennoch bestimmen, weil dieselbe dem osmotischen Drucke entgegen verrichtet wird.

Nachdem Köppe die Rolle der „osmotischen Energie" auf diese Weise ausgeschlossen hat, setzt er an Stelle derselben den Blutdruck ein. Da jedoch der letztere dem osmotischem Drucke gegenüber äusserst gering ist, hilft er sich durch Aufstellen folgender Hypothese: Stehen, durch eine semipermeable Wand getrennt, eine Lösung und Wasser einander gegenüber, so muss, um das Einströmen des Wassers zu verhindern, auf die Lösung ein mit dem osmotischen Druck gleicher, im allgemeinen ziemlich hoher Druck einwirken. „Soll aber nun von der Lösung noch Wasser abgepresst werden, so ist dazu ausserdem eine Arbeit nötig, welche nach der Formel $A = nRT \text{ lognat } \frac{\Delta_2}{\Delta_1}$ berechnet werden kann." Diese Arbeit ist „äusserst gering im Vergleich zum osmotischen Druck" der Lösung (l. c. S. 319). Würde demnach die semipermeable Wand das Wasser bloss in einer Richtung, von der Lösung gegen das Wasser durchlassen, in der entgegengesetzten Richtung dagegen nicht, so würde der osmotische Druck dadurch ausgeglichen werden, und wäre zur Abpressung des Wassers nur die obige „äusserst geringe Arbeit" notwendig. Diese Arbeit würde darin bestehen, dass das in die Nieren strömende Blut, dessen $\Delta = 0{,}55^{\circ}$ C. ist, in eines, dessen Gefrierpunkterniedrigung z. B. $0{,}56^{\circ}$ C. beträgt, komprimiert wird, wodurch jedem Liter Blut, $^{1}/_{55}$ Teil, d. h. 18 kcm abgepresst werden, mit einem Arbeitsaufwand von

$$A = 25{,}45 \cdot \frac{0{,}55 \cdot 1}{1{,}85} \cdot 2{,}3\ (\log 0{,}56 - \log 0{,}55) \text{ Literatm.,}$$

d. h. von $A = 0{,}136$ Literatm.; an Stelle dessen rechnet Köppe gerade zehnmal weniger, d. h. 0,0136 Literatm., und stellt diesen Wert, die Literatmosphären (also eine Arbeitsmenge) ganz einfach als Atmosphären (also als einen Druck, dessen Dimension Kraft pro Flächeneinheit ist) betrachtend, auf Grund des Zusammenhanges: 760 mm Hg = 1 Atm., 10·3 mm Hg gleich. Folglich wäre zur Abpressung von 18 kcm Wasser aus einem Liter Blut nur ein dermassen grosser Blutdruck notwendig, der auch tatsächlich zur Verfügung steht.

Hätte Köppe keine Rechenfehler begangen, so hätte er anstatt

10 mm Hg 103 mm erhalten und wäre Ihm zweifellos die Lust vergangen, eine ganze Tabelle auszurechnen, die sich mit der Kompression des Blutes von $\Delta = 0{,}55^{\circ}$ C. bis auf $\Delta = 0{,}62^{\circ}$ C. befasst, da zu dieser Kompression bereits ein Blutdruck von 688 mm Hg notwendig wäre.

Einen viel bedeutenderen Irrtum begeht er aber, als er meint, dass zur Kompression einer Lösung mit $\Delta = 0{,}56^{\circ}$ C. zu einer mit $\Delta = 0{,}56^{\circ}$ C. mit Hilfe einer Wand, die das Wasser nur in einer Richtung durchlässt, bloss ein Druck notwendig ist, welcher, dem Unterschiede des osmotischen Druckes der beiden Flüssigkeiten entsprechend, 103 mm Hg beträgt. Dies ist ein ähnlicher Irrtum, als würde jemand glauben, dass man, um in einem Kessel, in dem der Druck des Dampfes 10 Atm. beträgt, durch Hinzupressen neuerlichen Dampfes denselben auf 11 Atm. zu steigern, bloss einen, dem Unterschiede entsprechenden Druck von 1 Atm. benötigt. Die Köppe'sche Hypothese, laut welcher die Wand nur in einer Richtung permeabel sei, lässt sich hier sehr leicht realisieren, wenn man auf den Kessel ein Ventil anbringt, das sich nur einwärts öffnet, so dass das Zurückströmen des eingepressten Dampfes verhindert ist[1]). Meiner Ansicht nach wird sich niemand einbilden, dass sich mit Hilfe eines derartigen Ventils die obige Aufgabe, den Dampf mit einem Druck von 1 Atm. in den Kessel mit 10 Atm. einzupressen, durchführen liesse. Dies ist gerade so absurd wie die Kompression des Blutes, dessen osmotischer Druck 7,7 Atm. (= 5850 mm Hg) beträgt, mit Hilfe eines Blutdruckes von 10 mm oder 103 mm Hg. Danach wollen wir von den übrigen Irrtümern der Köppe'schen Auffassung nur noch erwähnen, dass, dem geschilderten Prozesse entsprechend, dem Blute bloss Wasser abgepresst werden würde, auf welche Weise bloss ein Harn, dessen Konzentration niedriger ist als die des Blutes, entstehen könnte, wo doch gerade die Erzeugung des konzentrierten Harns schwer zu erklären ist. In diesem Falle müsste — die partiellen Ten-

---

1) Wie alle Gleichnisse, hinkt auch dieses insofern, dass es sich im Beispiel von Köppe um Abpressung eines Lösungsmittels, hier aber um Einpressung des Dampfes (der die Rolle des gelösten Stoffes spielt) handelt.

Indessen berührt dies das Wesen der Frage nicht, da die Arbeitsleistung in beiden Fällen zum selben Zwecke, zur Kompression des gelösten Stoffes, bezw. Dampfes notwendig ist, der sich der gelöste Stoff, bezw. der Dampf immer mit dem ganzen Drucke entgegensetzt.

sionen ganz ausser acht gelassen — Wasser aus dem Glomerulenfiltrat zurück in das Blut gepresst werden, folglich der Druck in den Ureteren den Blutdruck übertreffen. Sehr gute Dienste leisten in diesem Falle einige wohllautende Ausdrücke, welche das Profanum vulgus nicht versteht. Hören wir daher Köppe (siehe S. 819): „Bei geeigneter Anordnung verschieden durchlässiger Wände, Berücksichtigung der Partialdrucke der einzelnen Blutbestandteile, der verschiedenen Diffusionsgeschwindigkeit, der Hydrolyse, Bildung komplexer Moleküle lässt sich theoretisch wohl erklären, dass zwischen zwei Flüssigkeiten, die aneinander vorbeifliessen, durch osmotische Energie (!) eine erhebliche osmotische Druckdifferenz zwischen beiden sich einstellt und bestehen bleibt". Vielleicht ist es überflüssig zu sagen, dass keiner dieser zahlreichen Faktoren geeignet ist, osmotische Druckdifferenzen zu erzeugen. Die molekulare Konzentration wird zwar durch die Bildung komplexer Moleküle vermindert, durch die Hydrolyse und Dissoziation dagegen gesteigert; doch kann man — ceteris paribus — auf die Bildung komplexer Moleküle eher in konzentrierten, auf Dissoziations- und hydrolytische Prozesse hingegen eher in niedriger konzentrierten Lösungen rechnen, so dass sämtliche Faktoren eher eine Verminderung der Konzentrationsdifferenzen bewirken, als eine Steigerung derselben. Das Gleichgewicht kommt aber nur dann zustande, wenn die Konzentration sowohl der komplexen Moleküle, wie auch der hydrolytischen und Dissoziationsprodukte in beiden Lösungen gleich ist. Zur Erläuterung des Zustandekommens der Konzentrationsdifferenzen haben die auch von Köppe erwähnten Gurwitschschen Untersuchungen zweifellos beigetragen, solange wir aber noch nicht wissen, wie das hypothetische, lipoide Lösungsmittel, das dank seiner beträchtlichen Lösungsfähigkeit einzelne Blutbestandteile an der dem Blute zugewendeten Seite der Epithelzellen in höherer Konzentration aufnimmt, von neuem verschwindet, bis die Vakuole auf die gegen die Harnkanälchen gelegene Seite gelangt, können wir die Nierenfunktion von physikalischem oder chemischem Standpunkte aus nicht als aufgeklärt betrachten.

Ich bin daher der Meinung, dass wenige die Schlusskonklusion Köppe's: „Wir haben klare, übersichtliche Vorstellungen gewonnen", teilen werden. Hingegen erleidet es — wieder im Gegensatze zur Behauptung Köppe's (siehe S. 820) — keinen Zweifel, dass sich die minimale osmotische Arbeit der Nieren feststellen lässt.

Der Fehler der bisherigen Dreser- und Galeotti'schen Berechnungen liegt, wie bereits in der Einleitung erwähnt worden ist, in einem ganz anderen Umstande, nämlich darin, dass die genannten Autoren, anstatt der partiellen Konzentrationen der einzelnen Bestandteile, bloss die gesamte Konzentration in Betracht gezogen haben, infolgedessen ihre Berechnungen nicht die Arbeit der Harnerzeugung, sondern diejenige der Erzeugung eines mit dem Harne gleich konzentrierten, kondensierten Blutserums ergeben. Behufs Bestimmung der tatsächlichen minimalen Arbeit müsste man die Konzentrationen sämtlicher Bestandteile sowohl des Blutes wie auch des Harnes kennen und die bei der Konzentrationsveränderung geleistete Arbeit hinsichtlich jeder derselben besonders berechnen. Indessen ist eine derartige Berechnung in Mangel an analytischen Daten unausführbar und hätte andererseits auch eine ganz genaue Berechnung[1]) infolge der Schwankuugen der Zusammensetzung des Harns keinen Zweck. Deshalb will ich in dem folgenden nur durch ein ungemein vereinfachtes Beispiel illustrieren, was für einen wesentlichen Einfluss die Berücksichtigung der partiellen Konzentrationen auf die Berechnung der Arbeit der Kompression ausübt; um gleichzeitig zu zeigen, dass die Harnproduktion sich im Gegensatz zu Galeotti's Behauptung (l. c. S. 204) wenigstens theoretisch auch reversibel sehr gut durchführen lässt, will ich den ganzen (teilweise bloss theoretischen) Gang der Harnabscheidung im folgenden kurz skizzieren, mit einer Berechnung, welche die Dreser'sche Korrektion gleich in sich enthält. Behufs dessen wollen wir nur die zwei wichtigsten Bestandteile des Harns in Betracht ziehen, das NaCl, das ca. $^2/_3$ der anorganischen Bestandteile bildet, und den Harnstoff, neben dem die übrigen organischen Bestandteile getrost vernachlässigt werden können.

Statt Blut haben wir also eine Flüssigkeit, welche 0,6 % NaCl, also in 1 Liter etwas mehr als $^1/_{10}$ Mol. (= 5,85 g), und mit Berücksichtigung der ca. 80 % betragenden Dissoziation 0,18 Molekel + Ionen NaCl ($c_{NaCl} = 0{,}18$) enthält.

1) Bei einer genauen Berechnung sollte man, wie es Galeotti hervorhebt, den Harn in möglichst vielen kleinen Portionen einzeln untersuchen und die so gewonnenen Ergebnisse summieren, um die sonst berechtigten Einwände Köppe's und Pauli's bezüglich der bei der Vermischung von verschieden konzentrierter und verschiedene Reaktion zeigender Harne stattfindenden Konzentrationsänderungen zu beseitigen.

Ausserdem enthalte noch die Lösung, dem Harnstoffgehalt des Blutes entsprechend, 0,06 %, d. h. in 1 Liter $^1/_{100}$ Mol. (= 0,6 g) Harnstoff (c_{ur} = 0,01).

Aus dieser Lösung wollen wir einen Harn von folgender Zusammensetzung entstehen lassen: NaCl 1,2 %, also in 1 Liter 0,36 Molekel + Ionen (c'_{NaCl} = 0,36), und Harnstoff 2,4 %, also 0,4 Mol. in 1 Liter (c'_{ur} = 0,4).

Zu diesem Zwecke lassen wir zuerst aus der dem Blute entsprechenden Lösung 1 Liter als Glomerulenfiltrat in unveränderter Zusammensetzung, also ohne Arbeitsleistung, abscheiden[1]). Dann nehmen wir Gebrauch von einem semipermeablen Stempel, welcher bloss für NaCl undurchlässig, für Wasser und alle anderen Blutbestandteile aber durchlässig ist. Mit Hilfe dessen pressen wir so viel NaCl aus dem Blute in das Glomerulenfiltrat, dass die Konzentration dieses Stoffes auf den gewünschten Wert c'_{NaCl} = 0,36 steigt.

Die zu diesem Zwecke erforderliche Arbeit lässt sich auf folgende Weise berechnen: Die Konzentration des NaCl bleibt hinter dem Stempel (im Blute) unverändert und übt infolgedessen einen unveränderlichen Druck p_0 auf denselben aus. Vor dem Stempel, im Glomerulenfiltrat steigt dieser Druck von p_0 auf $2\,p_0$, besitzt also den veränderlichen Wert p, und die Arbeit ist gegen die veränderliche Druckdifferenz $p - p_0$ zu verrichten, also

$$dA = (p - p_0)\,dv \text{ und } A = \int_{v'}^{v} p dv - p_0 \int_{v'}^{v} dv.$$

Das erste Integral ist, wie wir wissen laut (1.), gleich

$$n\,RT\,2{,}3 \log \frac{v}{v'}, \text{ das zweite } - p_0\,(v - v'),$$

also

$$A = n\,RT\,2{,}3 \log \frac{v}{v'} - p_0\,(v - v').$$

In unserem Falle ist

$$\frac{v}{v'} = \frac{c'}{c},\ p_0 = c\,RT \text{ und } vc = v'c' = n,$$

also

$$v' = \frac{n}{c'} \text{ und } v = \frac{n}{c}.$$

1) Bei der wirklichen Harnabscheidung nach der Starling'schen Auffassung würde hier gegen den partiellen osmotischen Druck der Eiweissstoffe und des Traubenzuckers des Blutes eine Arbeit verrichtet, welche aber infolge der geringen osmotischen Konzentration dieser Stoffe getrost zu vernachlässigen wäre.

Diese Werte eingesetzt, lautet unsere Gleichung

$$A = n\,RT\,2{,}3 \log \frac{c'}{c} - c\,RTn \left(\frac{1}{c} - \frac{1}{c'}\right)$$

$$= n\,RT \left[2{,}3 \log \frac{c'}{c} - c\left(\frac{c'-c}{c\,c'}\right)\right]$$

$$= n\,RT \left[2{,}3 \log \frac{c'}{c} - \frac{c'-c}{c'}\right].$$

Also für das NaCl, wo $n = 0{,}36$, $c = 0{,}18$, $c' = 0{,}36$ ist (ausserdem $RT = 262{,}9$ mkg für 37° C.)

$$A = 0{,}36 \cdot 262{,}9 \left[2{,}3 \log \frac{0{,}36}{0{,}18} - \frac{0{,}36-0{,}18}{0{,}36}\right] = 18{,}28 \text{ mkg.}$$

Nun komprimieren wir mit Hilfe eines anderen Stempels, welcher bloss für Harnstoff undurchlässig ist, diesen Stoff von der Konzentration $c = 0{,}01$ auf $c' = 0{,}4$.

Die hierzu erforderliche Arbeit ist, da $n = 0{,}4$ [1])

$$A = 0{,}4 \cdot 262{,}9 \left[2{,}3 \log \frac{0{,}4}{0{,}01} - \frac{0{,}4-0{,}01}{0{,}4}\right] = 290{,}0 \text{ mkg.}$$

Die gesamte Arbeitsmenge beträgt daher **18,28 + 290 = 308,28 mkg.**

Nach der bisher üblichen Rechnungsweise würde man die dem Blute entsprechende Lösung von der Anfangskonzentration

$$c = 0{,}18 + 0{,}01 = 0{,}19$$

mit Hilfe eines Stempels, welcher bloss für Wasser durchlässig, für alle anderen Stoffe dagegen undurchlässig ist, komprimieren auf die Endkonzentration des Harnes, d. h. auf

$$c' = 0{,}36 + 0{,}40 = 0{,}76.$$

Die hierzu erforderliche Arbeit wäre, da $n = 0{,}76$

$$A = 0{,}76 \cdot 262{,}9 \left[2{,}3 \log \frac{0{,}76}{0{,}19} - \frac{0{,}76-0{,}19}{0{,}76}\right] = 127{,}2 \text{ mkg.}$$

Wie ersichtlich, ergibt die Berücksichtigung der partiellen Konzentrationen einen etwa $2^1/_2$mal grösseren Wert als die bisher übliche Rechnungsweise.

---

1) Obwohl der Harnstoff jetzt zu der früher gewonnenen NaCl-haltigen Lösung hinzugepresst wird, braucht doch bei der Arbeitsberechnung bloss die partielle Konzentration des Harnstoffes berücksichtigt zu werden.

Erwiderung an Herrn Prof. H. Sahli.

Von

Dr. **Ladislaus v. Rhorer.**

Herr Prof. Sahli schreibt[1]) über meine Arbeit „Die Bestimmung der Harnazidität auf elektromotorischem Wege“[2]) folgendes: „Als verfehlt muss ich es bezeichnen, wenn man in Anbetracht der unleugbaren Schwierigkeiten, den Harn azidimetrisch zu titrieren, statt die Methode hierfür zu verbessern, den alten historischen Begriff der Azidität durch einen grundverschiedenen neuen Begriff, nämlich durch den der Konzentration der H-Ionen, zu ersetzen versucht hat. Die Azidität wird keineswegs bedingt durch die Konzentration der H-Ionen, sondern durch die Zahl der durch Metalle substituierbaren H-Atome überhaupt. Das sind ausserordentlich verschiedene Dinge, und es kann nur Verwirrung anrichten, wenn man die alte Bezeichnung der Azidität, die durch die Schwierigkeit, die letztere gerade beim Harn zu bestimmen, und durch die Lehren der physikalischen Chemie keineswegs zu einer veralteten geworden ist und also konserviert werden muss, auf einen neuen Begriff überträgt. Wenn also L. v. Rhorer mittels Gasketten die Konzentration der H-Ionen misst, um damit die Harnazidität zu bestimmen, so halte ich dies für eine bedenkliche Begriffsverwirrung.“

Hätte Herr Prof. Sahli nicht bloss den Titel, sondern auch den Inhalt meiner Arbeit gelesen, so hätte er sehen können, dass in derselben die Begriffe: H-Ionenkonzentration und titrierbares Alkali scharf unterschieden sind. Auf S. 588 heisst es nämlich: Durch das zu Aziditätsbestimmungen gewöhnlich angewandte Titrationsverfahren kann diese Konzentration (d. h. der H-Ionen) nicht ermittelt werden... Durch die Titration wird somit die Gesamtmenge des durch Metalle substituierbaren sogen. Säurehydrogens (potentielle Ionen nach Ostwald, im Gegensatze zu den aktuellen) gegeben, aber auch diese nicht immer mit der gewünschten Genauigkeit usw., und auf S. 600: ... die Titration gibt die Menge des gesamten durch Metalle substituierbaren Hydrogens.

1) Lehrbuch d. klin. Untersuchungsmethoden S. 572. 1905.

2) Pflüger's Arch. Bd. 86 S. 586. 1901.

Ich habe also den Unterschied zwischen den beiden Begriffen beinahe mit denselben Worten hervorgehoben, durch welche jetzt Herr Prof. Sahli mich belehren will. Auf S. 595 heisst es weiter, dass ich ausser der Messung der elektromotorischen Kraft auch das übliche Titrationsverfahren angewendet habe, und zwar eben mit Hilfe des von Nägeli und Prof. Sahli empfohlenen Phenolphtaleins als Indikators und stellte die verschiedenen Ergebnisse beider Verfahren ausser der Tabelle, auf S. 596, auch in einem Graphikum (S. 601) einander gegenüber.

Ich denke hiermit genügend gezeigt zu haben, dass mein Aufsatz keineswegs zu „bedenklicher Begriffsverwirrung" führen konnte und möchte Herrn Prof. Sahli auf das wärmste empfehlen, die Arbeiten früher durchzulesen und erst nachher zu kritisieren.

Was das Wort Azidität anbelangt, ist es unzweifelhaft, dass dasselbe (ebenso wie Alkalizität) jetzt in zweifachem Sinne gebraucht wird, und zwar, wie es am deutlichsten von Höber[1]) auseinandergesetzt wurde, in „physikochemischem" Sinne zur Bezeichnung der Ionenkonzentration und in „chemischem" Sinne zur Bezeichnung des titrierbaren Alkalis. Der letztere Gebrauch verdient den Vorteil unzweifelhaft vom historischen Standpunkte, hat aber den Nachteil, dass er ohne Bezeichnung der näheren Versuchsbedingungen (in erster Reihe des Indikators) vollkommen unklar ist, während die Ionenkonzentration ein scharfer, wohldefinierter Begriff ist. Beide haben also ihre Berechtigung. Um die Übel dieses zweifachen Gebrauches — welche ich keineswegs in Abrede stellen will — zu vermeiden, wäre es vielleicht am besten, statt des Wortes „Azidität" stets die genauen Ausdrücke „Ionenkonzentration" resp. „titrierbares Alkali" (mit Bezeichnung des Indikators) zu gebrauchen.

Was den Wert der Bestimmungen dieser beiden Grössen anbelangt, kann ich mich vollkommen der Meinung Höber's (S. 542 l. c.) anschliessen: „Wenn die Messung der Azidität des Harns überhaupt von wesentlichem Nutzen für die Beurteilung von bebesonderen Sekretionszuständen der Nieren oder eigentümlichen Verhältnissen im Stoffwechsel ist, so kann die eine Methode so gut von Wert sein wie die andere."

1) Hofmeister's Beiträge Bd. 3 S. 525. 1903.

Beiträge zur Physiologie und Anatomie des Cephalopodenauges.

Von

C. Hess in Würzburg.

(Hierzu Tafel V—VIII.)

I.

Von mehreren Forschern, die sich mit dem Studium des Cephalopodenauges beschäftigt haben, wurde eine rote Färbung der Netzhautstäbchen erwähnt, zuerst 1839 von A. Krohn[1]), später von Hensen[2]), Max Schultze[3]) und Anderen. Max Schultze machte über die Netzhautfarbe folgende Angaben: „Die Farbe, in welcher sich an solchen (sc. in Schälchen mit Jodserum liegenden) Präparaten die Retina zeigt, ist nach Arten und Individuen verschieden, bald dunkel schwarzbraun, bald blass rosenrot, je nach der bereits von früheren Beobachtern beschriebenen verschiedenen Pigmentierung der Stäbchenschicht. Die rosenrote Farbe beruht auf einer diffusen Färbung der ganzen Dicke der Stäbchenschicht, ist aber nur an frischen Exemplaren sichtbar, wo ihrer schon Krohn Erwähnung tut. Mit dem Mikroskop ist sie nur an dickeren Schichten abgelöster Stäbchen erkennbar. Dieselbe kann für die Betrachtung mit blossem Auge mehr oder weniger vollständig verdeckt werden durch die braunschwarzen, körnigen Pigmentierungen, welche sich bei manchen Arten innerhalb der Stäbchenschicht vorfinden. . . . Fast ganz pigmentfrei und von der schönsten rosenroten Farbe sah ich die Stäbchenschicht im Auge eines grossen Exemplars von Loligo sagittata."

1) A. Krohn, Nachtr. Bemerkungen über den Bau des Cephalopodenauges. Verhandl. d. Leop.-Carol. Akad. Bd. 19 S. 45. 1842.

2) Hensen, Über das Auge einiger Cephalopoden. Zeitschr. f. wissensch. Zool. Bd. 15. 1865. — Derselbe, Über den Sehpurpur bei Mollusken. Zool. Anzeiger Bd. 1 Nr. 2 S. 30. 1878.

3) M. Schultze, Die Stäbchen in der Retina der Cephalopoden und Heteropoden. Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 5. 1869.

Nachdem der Sehpurpur im Wirbeltierauge durch Boll und Kühne (1876) entdeckt und studiert worden war, wurde Krukenberg von Letzterem zu einer Untersuchung der Cephalopodennetzhaut auf das Vorkommen von Sehpurpur angeregt. Er berichtete in einem Briefe an Kühne[1]) über Versuche, bei welchen lebende Exemplare von Loligo auf dunklem Grunde einseitig belichtet wurden: „Die Farbe der Stäbchen beider Augen liess in den angestellten Versuchsreihen absolut keinen Unterschied erkennen, und es darf somit behauptet werden, dass der Stäbchenpurpur der Cephalopoden ebensowenig lichtempfindlich ist, wie nach Ihren Untersuchungen derjenige von Astacus. Auch an Sepia wurde dieser Versuch ausgeführt, und zwar mit dem nämlichen Erfolge. . . . . Der Stäbchenpurpur ist nicht nur sehr resistent dem Licht gegenüber, wovon ich mich ausser am lebenden Tiere noch an der herausgenommenen Retina, welche mehrere Stunden in einer Kochsalzlösung dem Sonnenlicht exponiert und durch dasselbe nicht bemerkbar verändert wurde, überzeugt habe, sondern er erträgt auch eine ziemlich hohe Temperatur."

Weitere Untersuchungen über die Färbung der Cephalopodennetzhaut sind mir nicht bekannt geworden. Noch im Jahre 1900 machte R. Greeff[2]) die Angabe, dass bei allen Wirbellosen der Sehpurpur fehle; „die zahlreichen, zum Teil auch roten Pigmente, welche bei den Wirbellosen vorkommen, sind ganz anderer Natur und sind im Licht nur sehr langsam vergänglich." Speciell für die rote Farbe der Cephalopodennetzhaut wurde der Meinung Ausdruck gegeben, dass sie nicht durch Sehpurpur bedingt sei.

Demgegenüber konnte ich[3]) den Nachweis erbringen, dass sich in den Netzhäuten verschiedener Cephalopodenarten ein sehr lichtempfindlicher, anscheinend dem Sehpurpur der Wirbeltiere nahestehender roter Farbstoff vorfindet.

Im folgenden berichte ich kurz über weitere Untersuchungen, die ich inzwischen an Cephalopodenaugen in Neapel anstellen konnte. Herrn Geheimrat Dohrn danke ich auch hier für das Entgegenkommen, das ich bei ihm und an der zoologischen Station gefunden habe; Herrn Cav. Lo Bianco bin ich für seine liebenswürdige Unterstützung und Versorgung mit Material zu Danke verpflichtet.

---

1) Untersuchungen aus dem physiol. Institut Heidelberg 1882.

2) Handb. d. ges. Augenheilkunde von Sämisch Bd. 1 (1) Kap. V S. 111.

3) Zentralbl. f. Physiol. 1902 H. 4.

Die hauptsächlichsten Schwierigkeiten bei Untersuchung des Sehpurpurs der Cephalopoden bietet die Anwesenheit von Pigment in der Stäbchenschicht selbst; hierauf ist es wohl auch wesentlich zurückzuführen, dass die merkwürdigen Eigenschaften, vor allem die Lichtempfindlichkeit dieses Farbstoffes so lange ganz unbekannt geblieben sind.

Beim Wirbeltier ist es sehr leicht, insbesondere an Dunkelaugen die Netzhaut so gut wie vollständig frei von Pigment zu erhalten; bei den Cephalopodenaugen ist dies unmöglich, einmal, weil bei mehreren Arten selbst nach längerer Verdunklung Pigment noch in grosser Menge nahe der vitralen Oberfläche der Netzhaut sich findet (vergl. Abschnitt 3), dann, weil bei allen hier in Betracht kommenden Arten das Pigment an der Basis der Stäbchen mit diesen innig verbunden, daher eine mechanische Trennung der letzteren vom Pigmente, wie im Wirbeltierauge, nicht möglich ist.

Man sieht daher auch bei günstigsten Verhältnissen hinsichtlich der Pigmentstellung die Netzhaut stets auf tiefschwarzer Unterlage, wodurch die Beobachtung einer Färbung der im Leben ziemlich durchsichtigen Netzhaut unter den gewöhnlichen Bedingungen fast unmöglich ist.

Bei meinen Untersuchungen schlug ich zur Ermittelung der fraglichen Färbungen die folgenden Wege ein: Einmal wurde die frische Netzhaut derart in Falten gelegt, dass Stellen ohne vitrales Pigment (siehe unten) die Kuppe von Falten bildeten, auf welche ich schräg von der Seite blickte. Ferner wurden die Schnittflächen von Querschnitten durch die bei vielen Arten besonders dicken und oft pigmentfreien mittleren Netzhautteile (siehe unten) auf ihre Färbung unter den verschiedensten Verhältnissen geprüft. Eine dritte, für viele Zwecke geeignete Untersuchungsmethode bestand darin, die Netzhaut durch passende, den Farbstoff nicht angreifende Reagenzien leicht zu trüben; der dunkle Pigmentgrund stört dann weniger oder gar nicht mehr, während die Färbung der Stäbchenschicht, solange die Trübung der letzteren zart genug bleibt, deutlich hervortritt. Viertens endlich habe ich vielfach Zupfpräparate unter verschiedenen Versuchsbedingungen und Belichtungsverhältnissen mikroskopisch untersucht.

Mit diesen Methoden konnte ich Sehpurpur in den Netzhäuten folgender Arten nachweisen: Sepia, Sepiola, Eledone, Octopus, Loligo, Rossia, Scaeurgus, Todaropsis; aus der ziemlich grossen Zahl meiner

einschlägigen Beobachtungen gebe ich hier nur die wichtigsten etwas ausführlicher wieder.

Als verhältnismässig günstiges Untersuchungsobjekt erwies sich mir Loligo (L. vulgaris und L. marmorae), die mir in grossen Mengen zur Verfügung stand und deren Pigment, wenigstens in den mittleren Netzhautteilen, bei schwachem Lichte oder nach kurzer Verdunklung im allgemeinen genügend scleral liegt, um eine Beobachtung der Stäbchenfärbung ohne zu grosse Schwierigkeiten zu gestatten.

Eröffnet man bei möglichst schwachem Tageslichte[1]) das frische Auge einer längere Zeit im Dunkeln gehaltenen Loligo, so erscheint, insbesondere wenn die Blickrichtung unter spitzem Winkel die Ebene der Netzhaut trifft, letztere meist ungefähr in ihren oberen zwei Dritteln[2]) schön dunkelrot bis purpurfarbig, in ihrem unteren Drittel meist noch wesentlich dunkler als im oberen, oft fast schwarz; doch konnte ich bei einzelnen, ca. fünf Stunden dunkel gehaltenen Exemplaren deutliche Purpurfärbung auch an diesem unteren Teile nachweisen. Der Unterschied in der Helligkeit zwischen den oberen und den unteren Netzhautteilen war im allgemeinen um so geringer, je frischer das Auge (je durchsichtiger also wohl die Netzhaut) war. Wird nun ein Stück dieser Netzhaut an die Sonne gebracht, so ist oft schon in weniger als einer Minute die Purpurfarbe in ein ungesättigtes bräunliches Gelb ohne Spur von Rot übergegangen; weiterhin wird die Farbe allmählich mehr strohgelb.

Bei derartigen Versuchen wurde stets ein Kontrollstück der Netzhaut im Dunkeln gehalten und wiederholt bei möglichst schwachem diffusen Lichte die Farbe beider Stücke direkt verglichen. Bei Anlegen von Schnitten muss auf die Möglichkeit einer verschiedenen Färbung der verschiedenen Netzhautpartien entsprechend Rücksicht genommen werden. Da im allgemeinen (s. u.) die Färbung der Netzhäute an den verschiedenen Stellen eines wagerechten Schnittes die gleiche ist, dagegen an verschiedenen Stellen eines senkrechten Schnittes beträchtlich variieren kann, so sollen die Trennungsschnitte zu den fraglichen vergleichenden Versuchen senkrecht angelegt werden; in der Regel wurden die Augen durch einen

1) Diese Versuche wurden in einem Dunkelzimmer angestellt, das eine innerhalb weiter Grenzen variable Fensteröffnung besass, die noch mit Mattgläsern und nach Bedürfnis mit farbigen Gläsern verdeckt werden konnte.

2) Genaueres über die hier in Betracht kommenden Pigmentverhältnisse siehe im dritten Abschnitte.

solchen Schnitt in zwei seitliche Hälften geteilt, die bei gleichen Beleuchtungsbedingungen übereinstimmende Färbung zeigten.

Die nach Schwinden der Purpurfärbung sichtbare gelbe Farbe pflegt im allgemeinen wesentlich lichtbeständiger zu sein als das Rot: bei einem Loligo-Auge fand ich nach 3/4 Stunden dauernder Besonnung die Farbe der Netzhaut noch deutlich gelblich.

Bei diffusem Lichte erfolgt der Übergang aus Rot in Gelb entsprechend langsamer. Zerzupft man bei möglichst schwachem Lichte rasch ein Stück Dunkelnetzhaut (z. B. einer Loligo), so erscheinen unter dem Mikroskop die Stäbchen zunächst schön purpurrot, nach einigen Minuten diffuser Belichtung (ohne direkte Sonne) blassgelb, in dünneren Schichten nahezu farblos. Diese Gelbfärbung war auch nach zwei bis drei Stunden dauernder Einwirkung diffusen Lichtes fast unverändert nachweisbar. Kontrollversuche wurden in der Weise angestellt, dass ein Teil des Objektträgers beschattet, der andere belichtet wurde; die verschiedene Färbung der beiden Teile unter dem Mikroskop war schon nach sehr kurzer Zeit leicht wahrzunehmen.

Wurde eine Dunkelnetzhaut durchschnitten, so erschien die Schnittfläche als leuchtend purpurrote oder gelblichrote Linie, deren Färbung am Lichte rasch in Gelb überging.

Die Purpurfärbung der Stäbchen konnte ich ebensowohl an jenen Netzhautpartien nachweisen, die keine Lichtstellung des Pigmentes zeigten, als an jenen mit ausgesprochener innerer Pigmentzone.

Während bei Loligo die direkte Beobachtung der Netzhautfärbung unter den genannten Versuchsbedingungen in der Regel ziemlich leicht ist, wird bei verschiedenen anderen Cephalopodenarten die Erkennung des Sehpurpurs erst auf Umwegen möglich.

Die Netzhäute von Sepia officinalis erschienen, wenn das Auge ganz frisch eröffnet wurde, oft tiefdunkel oder schwarz, so dass eine Färbung gar nicht oder nicht mit genügender Sicherheit sich feststellen liess; auch nach Besonnung eines Netzhautstückes konnte zunächst zwischen diesem und dem dunkel gehaltenen Auge kein deutlicher Unterschied festgestellt werden, sie erschienen beide schwarz. Wurden aber jetzt beide Stücke in 4 %iges Formolseewasser gebracht, so trat bald eine leichte Trübung der Netzhäute auf, und es erschien nun die Dunkelnetzhaut schön rot, zuweilen mit einem Stiche ins Violette, die Hellnetzhaut dagegen graugelb; wurde dann

ein Stück der Dunkelnetzhaut im Formol an die Sonne gebracht, so ging die Purpurfarbe bald in Graugelb über. Auf Querschnitten durch die Netzhaut zeigten besonders die mittleren, dicken Teile am Formolpräparat eine schön rote Farbe, die nach 10—15 Minuten dauernder Einwirkung diffusen Lichtes in Gelb übergegangen war.

Die Purpurfärbung hält sich im Formol geraume Zeit, oft mehrere Tage lang, ziemlich unverändert, wenn das Auge vor Belichtung geschützt bleibt. Eine Hell- und eine Dunkelnetzhaut, die in Formol 24 Stunden im Dunkeln gehalten worden waren, zeigten den charakteristischen Farbunterschied noch fast ebenso schön wie kurz nach Einlegen in Formol; eine andere Dunkelnetzhaut (von Rossia) war nach zweitägiger Formolwirkung noch graurot, das Rot ging an der Sonne in einer bis zwei Minuten in Graugelb über. (Doch darf man, wie es scheint, daraus nicht schliessen, dass das Formol allgemein ganz ohne Einfluss auf die Stäbchenfarbe sei: Eine gelbe Hellnetzhaut und eine rote Dunkelnetzhaut wurden in Formol im Dunkeln gelassen; nach einem Tage fand ich die Hellnetzhaut farblos grau, die Dunkelnetzhaut nur noch schwach rötlichgelb.)

Ein Stück Dunkelnetzhaut, das 24 Stunden in Formol gelegen hatte und schön rot erschien, wurde an der Sonne erst nach ca. fünf bis zehn Minuten deutlich graugelb, während das dunkel gehaltene Vergleichsstück noch leuchtend rot erschien. Nach diesen Versuchen hat es den Anschein, als ob hier das Formol die Lichtempfindlichkeit des Sehpurpurs abgestumpft hätte. (Für den Wirbeltiersehpurpur hat ein Gleiches bei Anwendung von 4—10 %igen Formalinlösungen Abelsdorff angegeben.)

Durch freundliche Vermittlung der zoologischen Station in Helgoland wurden mir die Augen eines im Dunkeln gefangenen sehr grossen Exemplars von Loligo Forbesii zugeschickt, die sofort in 5 %iges Formol gebracht worden waren; die Hälfte eines Auges wurde längere Zeit an einem trüben Tage dem diffusen Lichte ausgesetzt, die andere dunkel gehalten; auch hier zeigte sich noch ein deutlicher Farbenunterschied; die Hellnetzhaut war gleichmässig hellgrau, die Dunkelnetzhaut noch deutlich rötlich; insbesondere war der Unterschied auch auf den Netzhautquerschnitten schön wahrnehmbar. Analoge Beobachtungen konnte ich an Augen von Octopus macropus machen, die ich der freundlichen Vermittlung von Herrn Professor von Davidoff in Villafranca verdanke: die in 4 %igem Formolwasser fixierten Netzhäute erschienen unmittelbar nach Er-

öffnung der Augen rotgrau; am Lichte ging der rote Farbenton bald verloren.

Bei nicht mehr ganz frischen Augen, z. B. solchen einer vor mehreren Stunden gestorbenen Sepia, kann die Netzhaut auch ohne Einwirkung von Reagenzien schön rot erscheinen, anscheinend infolge leichter kadaveröser Trübung ihres Gewebes. Dieses Rot geht unter dem Einflusse des Lichtes verhältnismässig rasch in Gelb über; an der Sonne ist meist der Farbunterschied schon nach einer bis zwei Minuten sehr gross. Eine Netzhaut wurde mittels Lupe etwas stärker belichtet (selbstverständlich nicht etwa so, dass das Sonnenbild auf die Netzhautebene zu liegen kam); der belichtete Teil erschien schon nach wenigen Sekunden graugelb. Das Gelb ist auch hier wieder viel lichtbeständiger, die Netzhaut erscheint selbst nach zweistündiger Besonnung noch gelblich, nicht ganz farblos.

Die Farbenänderungen, die ich bei den anderen oben genannten Cephalopodenarten unter dem Einflusse des Lichtes beobachtete, waren im wesentlichen ähnliche oder die gleichen wie bei Loligo und Sepia, so dass ich auf eine ausführliche Beschreibung des Sehpurpurs einer jeden Art verzichten kann.

Ich stelle hier die für uns wichtigsten Tatsachen über das Verhalten des Wirbeltiersehpurpurs nach Kühne (Hermann's Handb. d. Physiol. Bd. 3 Heft 1 S. 288ff.) zusammen: „Ans Tageslicht gebracht schlägt die Netzhautfarbe entweder allmählich in röteren Purpur, reines Rot, Orangegelb und Chamois um, ehe sie vollkommen farblos wird, oder sie geht mit einem Schlage durch blasses Lila zur Farblosigkeit über. Je frischer die Netzhaut und je lichtempfindlicher infolge davon, aus noch zu erörternden Gründen, der Purpur ist, desto mehr ist die letztere Erscheinung ausgeprägt . . . Froschnetzhäute, obwohl in direktem Sonnenlichte anscheinend momentan bleichend, lassen fast immer zuvor ein gelbes oder chamoisfarbenes Stadium deutlich aufkommen. Schneller als die Netzhaut wird die Purpurlösung gebleicht, und in dieser ist Chamoisfarbe oft kaum kenntlich, während die gelbe nur an direktem Sonnenlichte zu übersehen ist.“ „Ans Tageslicht gebracht zeigt die Lösung die Farbe nur einige Augenblicke, indem sie schleunigst rot, darauf gelb, zuletzt farblos wird wie Wasser.“[1]) „Augenscheinlich ist die Wirkung

1) Dagegen wird von Köttgen und Abelsdorff das Vorkommen von Sehgelb bei den Wirbeltieren entschieden in Abrede gestellt; der Sehpurpur erbleiche, ohne in eine anders gefärbte Substanz überzugehen. (Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 12 S. 161.)

abhängig von der Intensität des Lichtes, langsam verlaufend bei schwacher Beleuchtung; bei zur Erkennung der Zwischenfarben gerade ausreichendem Lichte nimmt sie 15—20 Minuten in Anspruch."

Will man die Lichtempfindlichkeit des Cephalopodensehpurpurs mit jener des Wirbeltierpurpurs vergleichen, so sind die folgenden Umstände zu berücksichtigen.

Nach Kühne hat die „anscheinende Indolenz des Sehpurpurs im Leben" ihre Ursache in der Wiedererzeugung des Purpurs vom retinalen Epithel aus. „Während die Froschnetzhaut isoliert im direkten Sonnenlicht in unmessbar kurzer Zeit ausbleicht, bedarf sie im Auge des lebenden Frosches dazu mindestens zehn Minuten und noch etwa drei Minuten, wenn Kornea und Linse entfernt sind und die Sonne durch das grosse Loch darauf scheint, das sich an Stelle der engen Pupille durch einen Sperrhalter in der Iris herstellen lässt. Ein im diffusen Tageslicht lang geöffnet gelegener Bulbus liefert häufig noch recht intensiv gefärbte Netzhautpräparate".

Bei den Cephalopodenaugen ist die regenerierende Zelllage fest und untrennbar mit den Stäbchen verbunden; daher sind die Regenerationsbedingungen hier, soweit die Beziehungen zum Pigmente in Betracht kommen, verhältnismässig sehr günstig. Ferner ist zu berücksichtigen, dass die purpurhaltige Stäbchenschicht bei den Cephalopoden durchschnittlich über 0,2 mm, also ungefähr 3—4 mal so dick ist, wie im Wirbeltierauge, wo die Stäbchen eine mittlere Länge von 0,05 bis 0,06 mm besitzen.

Die Vermutung, dass die innige Verbindung der Pigmentlage mit den Stäbchen vielleicht in ähnlicher Weise, wie es Kühne bei den hier zitierten Beobachtungen für das Wirbeltierauge beschreibt, für die Sehpurpurneubildung bei den Cephalopoden wirksam ist, findet wohl eine Stütze in der von mir gemachten Beobachtung (s. u.), dass der Sehpurpur solcher Augen, die eine Zeit in Alaun oder Kochsalzlösungen gelegen hatten und dadurch wohl der Regenerationsfähigkeit beraubt waren, sehr rasch ausbleichte. Weiter ist hier noch folgende Angabe Kühne's von Interesse: „Manche Netzhäute werden am Lichte auffallend spät farblos, indem der Purpur zwar wie gewöhnlich schnell umschlägt, das rote und orange Stadium aber sehr verlängert wird und das letzte Gelb oft stundenlang zerstreutem, gutem Tageslichte standhält. Tritt die Erscheinung an frischen Netzhäuten auf, so deutet sie auf eine, namentlich bei Fröschen vorkommende Abnormität, die sich meist schon in der ungewöhnlich wenig purpurnen

Farbe der Dunkelretina zu erkennen gibt. Beim Aal und bei der Eule wurde Ähnliches gesehen.“

Bei mehreren Cephalopodenarten zeigte sich eine rote Färbung der Netzhaut nicht nur, wenn das Tier im Dunkeln getötet war, sondern auch dann, wenn es sich vorher in diffusem Lichte befunden hatte. Zur Beurteilung dieser Verhältnisse hat die Kenntnis des Pupillenspieles bei den Cephalopoden ein gewisses Interesse.

Beer gibt an, dass die litoralen Cephalopoden in einem hellen Raume die Pupillen geschlossen haben; selbst in einem mässig hellen Raume erinnere er sich, Octopus macropus tagsüber nie anders gesehen zu haben, als mit festverschlossener Pupille und auch Sepia und Eledone nie mit weit offener, meist mit schmalspaltiger. „Die Pupillen der pelagischen Arten, wie Illex, Todarodes, Loligo usw. schliessen sich auch im hellen Licht nicht.“ Bezüglich der litoralen Formen habe ich das Gleiche beobachtet wie Beer, dagegen habe ich wiederholt gesehen, das frische und lebhafte Exemplare von Loligo nicht nur an der Sonne, sondern auch bei diffusem Tageslichte ihre Iris in der sogleich zu schildernden Weise derart zusammenzogen, dass von der Pupille so gut wie nichts zu sehen war. Erst wenn die Tiere anfingen, matt zu werden, fand ich auch bei direkter Besonnung die Pupillen offen. Bei Sepia beobachtete ich mehrfach, dass die Tiere in dem der Sonne ausgesetzten Bassin sich so drehten, dass möglichst wenig Licht in die Augen fiel.

Ein Scaeurgus unicirrus heftete sich unter gleichen Verhältnissen so an den Rand des Bassins fest, dass seine durch eine breite Haut untereinander verbundenen Arme einen Schirm zu bilden schienen, in dessen Schatten das Tier sass. Doch habe ich den Versuch nicht genügend häufig wiederholen können, um hier die Möglichkeit eines Zufalles sicher auszuschliessen.

Jedenfalls geht aus dem Mitgeteilten hervor, dass viele Cephalopoden durch Pupillenverengerung ihre Augen viel vollständiger vor Lichteinfall zu schützen vermögen als ein grosser Teil der Wirbeltiere, und dass schon verhältnismässig nicht sehr hohe Lichtstärken genügen, um einen derartig vollständigen Lichtschutz eintreten zu lassen.

Weiter bestehen bei manchen Cephalopodenarten zweckmässige Einrichtungen zum Schutze gegen das vorwiegend von oben einfallende Licht. Bei Loligo z. B. wird bei Belichtung der obere Teil der Iris wie ein Vorhang so weit über die Linse heruntergezogen, dass ein beträchtlich unterhalb des vorderen Linsenscheitels gelegener

wagerechter, leicht nach unten konvexer Schlitz entsteht; ist dieser nur wenig geöffnet, so kann wohl von unten und von der Seite her, nicht aber von oben Licht ins Auge fallen. Die Färbung der Iris kann durch Änderung des Zustandes der in ihr enthaltenen Chromatophoren beträchtlich variieren (der dabei in Betracht kommende Innervationsmechanismus ist kürzlich in einer interessanten Untersuchung von R. Magnus aufgedeckt worden). —

Um weitere Eigenschaften des Cephalopodensehpurpurs zu ermitteln und um festzustellen, inwieweit eine Übereinstimmung bezw. Verschiedenheit vom Wirbeltiersehpurpur bestehe, habe ich folgende Versuche angestellt:

Postmortale Veränderungen sind offenbar nicht von beträchtlichem schädigenden Einflusse auf den Cephalopodenpurpur: Netzhäute von Loligo, die ich nach der Enukleation zwei Tage im Dunkeln gehalten hatte, bildeten eine feuchte, breiartige Masse von grauroter Farbe, die am diffusen Lichte eines sehr trüben Regentages in wenigen Minuten in Graugelb überging. Auch Netzhäute von Sepia, die vier Tage im Dunkeln feucht gelegen hatten, zeigten noch schön rote Farbe, während die Hellnetzhäute graugelb erschienen. (Für Wirbeltiere fand Kühne, dass faulende Netzhäute bei sorgfältigem Lichtschutze auch nach Monaten nicht an Färbung verlieren.)

Für den Einfluss der Temperatur auf den Wirbeltiersehpurpur gibt Kühne an, dass (feuchte) Froschnetzhäute bei 76° C. augenblicklich, bei 75° nach einer Minute, bei 70° in acht Minuten, bei 60° in einer Stunde entfärbt werden..... Zusatz von Natriumkarbonat oder NH_3 setzt die Entfärbungstemperatur für die Netzhaut bedeutend, auf etwa 47° herab. Purpurlösungen aus Kaninchennetzhäuten werden schon bei 62° in zweieinhalb Minuten entfärbt, bei 58° in vier Minuten chamois. „Es gibt da also auf chemische Unterschiede des Purpurs in der Tierreihe, — wofür sich noch viele andere Gründe finden —, deutende Tatsachen.“

Ich erwärmte Stücke einer schön roten Dunkelnetzhaut von Loligo langsam im Wasserbade bei sehr schwachem Lichte; bei 55° C., in andern Versuchen bei ca. 50—52°, wurden sie graurot, trübe; ein Stück hiervon an die Sonne gebracht wurde rasch graugelb. Die bei 55° graurot gewordenen Stücke wurden bei 58° bald gelb und stets bei 60° farblos grau.

Eine Reihe weiterer Versuche wurde veranlasst durch die von

Kühne mitgeteilte Tatsache, dass der Vertebratensehpurpur von Alaun nicht alteriert wird.

Das Auge einer Sepia, die während der Nacht gestorben war, wurde im Dunkeln eröffnet und in (4 % Kali-)Alaun gebracht; dabei wurde sie bald graurot und erschien mit einem zarten weissen Schleier bedeckt; die eine Hälfte dieser Netzhaut ist an der Sonne nach einer bis zwei Minuten weiss mit einem Stich ins Gelbe, während die Dunkelnetzhaut schön rot bleibt. Nach Entfernung der (sich nicht in toto ablösenden) Membrana limitans ist die Netzhaut schön graurot zu sehen, sie zeigt an der Sonne schon nach zehn Sekunden deutliche Gelbfärbung. Nach zehn Minuten ist sie fast farblos.

Die Netzhaut eines Octopus, der drei Tage dunkel gehalten war, erscheint frisch gleichmässig tiefdunkelbraun; ein Teil davon wird in Alaun ans Helle (nicht direkte Sonne) gebracht, ein anderer in Alaun dunkel gehalten. Zunächst ist zwischen beiden Stücken kaum ein Unterschied zu sehen. Nach einer Viertelstunde ist die Dunkelhälfte rot, die Hellhälfte viel mehr gelb.

Der hintere Abschnitt des Auges einer durch 87 Stunden dunkel gehaltenen Sepia wird in Alaun gelegt; die Netzhaut erscheint zunächst tiefschwarz, auf Falten schön purpurrot. Sie trübt sich in den nächsten Minuten, während deren sie bei stark herabgesetzter Beleuchtung beobachtet wird, wobei die Purpurfarbe sehr deutlich hervortritt. Bei dem diffusen Lichte des bedeckten Himmels geht diese sehr bald durch Gelbrot in Gelb über; nach ungefähr einer Stunde ist die Netzhaut blass gelblich grau, während die Dunkelnetzhaut noch schön graurot erscheint. Unter dem Mikroskop zeigt sich an Zupfpräparaten die Stäbchenschicht gleichmässig schön rot; auch hier ist der Übergang in Strohgelb unter dem Einflusse des Lichtes schön zu verfolgen. Nach mehreren Stunden ist die Hellnetzhaut blass strohgelb, auch die Dunkelnetzhaut etwas blasser geworden, aber noch graurot.

Von einer schon mehrere Stunden toten Loligo wird die bei schwachem Lichte präparierte gleichmässig purpurrote Netzhaut zur einen Hälfte besonnt und erscheint schon nach 20 Sekunden deutlich gelb neben der mehr bläulichroten Dunkelnetzhaut. In Alaun zeigen beide bald einen grauen Schimmer, doch ist der Farbunterschied noch sehr gross. Bei weiterer Besonnung wird die Hellnetzhaut in Alaun nach ca. einer Viertelstunde blassstrohgelb, nach ca. 1—1½

Stunden farblos, hellgrau. Die Dunkelnetzhaut wird bei Besonnung nach einiger Zeit graugelb.

Das Auge einer schon einige Stunden toten Loligo wird in Seewasser zur einen Hälfte durch vier Stunden diffus belichtet, zur anderen dunkel gehalten, dann werden beide in Alaun gebracht; es zeigt sich bald ein grauer Schimmer auf beiden Netzhäuten, die dunkel gehaltene erscheint schön rot, die diffus belichtet gewesene hellgelb.

Die Hoffnung, dass es gelingen würde, in ähnlicher Weise, wie bei Wirbeltieren den Sehpurpur mit Hilfe des Alauns zu erhalten, erfüllte sich nicht; bei längerer Alaunwirkung änderte der Cephalopoden-Sehpurpur auch bei Lichtabschluss seine Farbe; in dem zuletzt angeführten Falle war 2½ Stunden nach Beginn der Alaunwirkung auch an dem dunkel gehaltenen Stücke das Rot in Gelb übergegangen; das andere (nach der Belichtung gleichfalls ins Dunkle gebrachte) Stück erschien nur ein wenig blasser gelb als das erste.

Die Farbe des Wirbeltiersehpurpurs bleibt ausser in Alaun u. a. auch in Chlornatrium jeder Konzentration, in Ammoniak und in kohlensaurem Alkali unverändert. Für Chlornatrium trifft dies auch beim Cephalopoden-Sehpurpur zu: Die schön purpurrot erscheinende Netzhaut einer Loligo wird in konzentrierte Chlornatriumlösung gelegt und die eine Hälfte davon ans Helle gebracht; nach wenigen Minuten ist die Hellnetzhaut braungelb, nach ca. einer Stunde Sonne grau mit einem Stich ins Braune; die andere, dunkel gehaltene Hälfte erscheint noch nach zwei Tagen schön rot und wird dann an der Sonne in einer bis zwei Minuten gelb. Bei einem zweiten, ähnlichen Versuche (Loligo) wurde die in konzentriertem Chlornatrium liegende rote Dunkelnetzhaut an der Sonne in wenigen Sekunden gelblich rot, nach ca. einer Minute war sie braungrau, nach drei Stunden farblos grau, während das im Dunkeln gehaltene Stück der in Chlornatrium liegenden Netzhaut noch nach zwei Tagen leuchtend rot erschien.

In einer starken (nicht konzentrierten) Kochsalzlösung erschien ein länger belichtetes Netzhautstück grau, ein dunkel gehaltenes rot; der Farbunterschied war an diesen Stücken noch schön zu sehen, nachdem beide acht Tage lang im Dunkeln in der Kochsalzlösung gelegen hatten.

Träufelt man auf ein Stück schön rot erscheinender Loligonetzhaut einen Tropfen stark verdünnter Salzsäure, so wird die Stelle fast momentan weisslich gelb; ebenso kann man das Gelb-

werden bei Salzsäurezusatz an Zupfpräparaten unter dem Mikroskop verfolgen. Bei Zusatz von 70%igem Alkohol zu einer frischen oder mit Formol vorbehandelten, noch rot erscheinenden Netzhaut wird diese sofort graugelb.

Auch bei Aufträufeln von kohlensaurem Natron oder von Ammoniak wird die rote Stäbchenfarbe fast momentan zerstört. Krukenberg's Angabe, der rote Farbstoff werde von NH_3 unverändert gelöst, ist demnach unrichtig; der Irrtum wurde offenbar dadurch veranlasst, dass, wie ich fand, Ammoniak, wie überhaupt viele alkalische Flüssigkeiten, auch in starker Verdünnung das Pigment der Cephalopodennetzhaut rasch unter Bildung einer schön roten, aber lichtbeständigen Flüssigkeit auflöst. (Ebenso wird das Pigment auch durch Säuren gelöst, wie Grenacher[1]) fand und ich auch für sehr verdünnte Säuren bestätigen kann.) Auch von Netzhäuten, die fast zwei Jahre lang in Alkohol gelegen hatten, erhielt ich bei Zusatz von stark verdünntem Alkali in wenigen Minuten schön rote Pigmentlösungen; wurde von diesen ein Teil im Dunkeln, ein anderer im Hellen gehalten, so war nach zwei bis drei Tagen diffuser Belichtung noch keine Spur von Farbunterschied zu sehen; erst bei langem Stehen im Hellen blasste die Lösung langsam etwas ab.

An den mit Ammoniak oder kohlensaurem Natron behandelten Zupfpräparaten sieht man auch bei verdünnten (z. B. 1%igen) Lösungen schon nach wenigen Sekunden in der Umgebung des Pigmentes eine braunrote Flüssigkeit auftreten, die durch Auflösung des Pigmentes entsteht. Kleine Stückchen einer Cephalopodennetzhaut können in 1%iger Lösung von Ammoniak oder kohlensaurem Natron schon in wenigen Stunden bei gut erhaltener Struktur vollständig entpigmentiert sein. Das mobile und das stabile Pigment (s. u.) lösen sich anscheinend in gleicher Weise.

Es wäre auf dem hier angedeuteten Wege vielleicht möglich, bei systematischen Untersuchungen ein geeignetes Lösungsmittel für das Pigment zu finden, das etwa in passender Verdünnung ohne Wirkung auf den Sehpurpur wäre; für chemische Untersuchungen des Sehpurpurs wäre solches sehr wertvoll, da man damit in die Lage kommen könnte, ziemlich leicht verhältnismässig grosse Mengen von Sehpurpur zur Untersuchung zu erhalten.

---

1) H. Grenacher, Abhandl. z. vergl. Anatomie des Auges. I. Die Retina der Cephalopoden. Abhandl. der naturf. Gesellsch. zu Halle Bd. 16. 1884.

Endlich möchte ich noch kurz über einzelne Beobachtungen berichten, die ich leider nicht genügend häufig wiederholen konnte, um weitergehende Schlüsse daraus zu ziehen, die aber doch einer kurzen Mitteilung wert sein dürften. Im Hinblicke auf Kühne's Angabe, dass an getrockneten Netzhäuten die Bleichung des Sehpurpurs ausserordentlich verlangsamt wird, versuchte ich einige rote Loligonetzhäute im Exsikkator zu trocknen; dabei blieb aber in der Regel eine tiefdunkle oder schwarze, zur Beobachtung der Purpurfärbung nicht mehr geeignete Masse zurück. Einmal gelang es mir, eine Loligonetzhaut, die 24 Stunden im Dunkeln gelegen hatte und nur noch eine Spur feucht war, derart auf dem Objektträger auszubreiten, dass sie im durchfallenden Lichte schön purpurfarbig erschien. An der Sonne wurde diese fast trockene Farbe langsam weniger rot, nach etwa einer halben Stunde Besonnung erschien sie orangefarbig. (Der Versuch ist nicht eindeutig, da hier auch das Pigment von Einfluss auf die Färbung des durchfallenden Lichtes war.)

Zu den Versuchen mit taurocholsaurem Natron bediente ich mich 2—3%iger Lösungen eines Merck'schen, zum Teile auch eines mir von Herrn Kollegen Kobert freundlichst überlassenen Präparates, die in den von mir benutzten sehr kleinen Reagensgläschen nur einen sehr schwach gelblichen Ton zeigten.

Bringt man unter dem Mikroskop zu einem Stückchen zerzupfter frischer Dunkelnetzhaut einige Tropfen des taurocholsauren Natrons, so beobachtet man eine sofort beginnende Auflösung der Stäbchen. Mit fortschreitender Lösung sieht man immer grössere Mengen von Pigment frei werden; die Stäbchen sind zunächst noch schön rot, zum Teile unregelmässig angefressen zu sehen; weiterhin erscheinen sie farblos und verschwinden allmählich vollständig; an einem Stückchen Netzhaut, das zwei bis drei Stunden in taurocholsaurem Natron gelegen hatte, konnte ich nur noch vereinzelt kleine Inselchen von nicht gelösten Stäbchen auffinden.

Bei diesen Versuchen ist natürlich nicht mit Bestimmtheit anzugeben, ob das Ausbleichen der Stäbchen durch Licht oder etwa durch das taurocholsaure Natron bedingt ist. Dagegen deuten folgende Versuche darauf hin, dass das taurocholsaure Natron in der von mir benutzten Form keinen wesentlich schädigenden Einfluss auf die Stäbchenfärbung zu haben schien.

Wird ein Stück Netzhaut (Loligo) im Dunkeln längere Zeit in taurocholsaurem Natron gelassen und dann mikroskopisch untersucht,

so findet man jetzt noch grosse Mengen zum Teile stark in Zerfall begriffener Stäbchen, die noch schöne Purpurfarbe zeigen. Das zur Lösung benutzte taurocholsaure Natron zeigt nun, je nach der Konzentration, mehr oder weniger gesättigt gelbrote Farbe und erscheint durch das suspendierte Pigment getrübt, um so mehr, je stärker das Präparat geschüttelt worden war. Bei Vermeiden jeden Schüttelns erhielt ich wiederholt eine fast ganz klare, aber verhältnismässig wenig gesättigte (gelblich)rote Lösung. Die Lösung wird unter der Einwirkung des Sonnenlichtes in kurzer Zeit ein wenig mehr gelblich, zugleich etwas weniger gesättigt (blasser). In einzelnen Fällen war dieses Gelblicherwerden schon nach 10—20 Sekunden, in anderen nach weniger als einer Minute wahrnehmbar; der Farbunterschied nimmt dann in der Regel nur kurze Zeit zu, danach ändert die Lösung ihre Färbung kaum oder gar nicht mehr weiter; auch nach mehrere Stunden dauernder Einwirkung des Sonnenlichtes erscheint sie in vielen Fällen nur wenig gelblicher oder blasser als kurz nach Beginn der Besonnung. Im diffusen Lichte fand ich zuweilen nach 5—15 Minuten die Lösung etwas mehr gelblich als die dunkel gehaltene; stets bleibt sie aber noch deutlich, oft ziemlich intensiv gelbrot gefärbt. Diese leichte Änderung der roten Farbe der Lösung unter dem Einflusse des Lichtes habe ich bei öfterer Wiederholung bei verschiedenen Arten (Rossia, Loligo, Sepia, Eledone) in vielen, aber nicht allen Fällen gefunden.

Die lichtbeständige mehr gelblichrote Färbung der längere Zeit besonnten Flüssigkeit scheint zum Teile durch Lösung von Pigment, zum Teile durch Suspension von solchem, infolge der Lösung der Stäbchen freigewordenem, bedingt zu sein. Ich habe einige Versuche zur Entfernung des letzteren gemacht, deren Erfolge mich aber nicht befriedigten. Durch Filtrierpapier und durch Glaswolle ging das Pigment grossenteils hindurch. Auch einige Versuche, es durch Zentrifugieren zu entfernen, gelangen nur unvollständig. In einem Falle erhielt ich nach Schütteln einer Dunkelnetzhaut von Sepia mit taurocholsaurem Natron eine rote, trübe Flüssigkeit, die nach Zentrifugieren ziemlich klar gelblichrot erschien; ein Teil davon an die Sonne gebracht erschien nach wenigen Minuten etwas gelblicher als der dunkel gehaltene Teil. Derartige Versuche gelangen nicht bloss mit ganz frischen, sondern auch mit Augen von Tieren, die längere Zeit, zum Teile sogar zwei Tage vor der Präparation, gestorben waren.

Der Versuch, je eine vorher belichtete und eine dunkel gehaltene frische Netzhaut in taurocholsaurem Natron zu lösen, wurde dreimal angestellt. Das eine Mal war nach 24 Stunden die Farbe beider Lösungen ungefähr die gleiche; unter dem Mikroskop erschienen die noch nicht gelösten Stäbchen der Dunkelnetzhaut noch schön (gelblich) rot, die der Hellnetzhaut waren fast farblos, schwach gelblich. In einem zweiten Falle erschien nach 20 Stunden die Lösung der Hellnetzhaut mehr gelb gegenüber der mehr bläulichroten der Dunkelnetzhaut. In einem dritten Falle war die eine Netzhaut (Sepia) eine Stunde der Sonne ausgesetzt worden, die andere dunkel gehalten, dann jede in (ungefähr gleich grosse Mengen) taurocholsaures Natron gebracht. Nach vier Stunden war der Farbunterschied zwischen den beiden filtrierten, rot erscheinenden Lösungen nicht nennenswert. Wurde nun aber von der Lösung der Dunkelnetzhaut ein Teil in diffuses Licht gebracht, so erschien dieser nach ca. 10—20 Minuten gelber und blasser als der dunkel gehaltene Teil der Lösung. Wenn ich eine durch längere Zeit in Formol fixierte Cephalopodennetzhaut im Dunkeln in eine 1 %ige Lösung von taurocholsaurem Natron brachte, so waren auch nach 2—3 Tage dauernder Einwirkung die Stäbchen noch sehr schön zu sehen. Die Flüssigkeit hatte sich wieder schön gelbrot, z. T. tiefbraunrot gefärbt, und diese Färbung erwies sich wieder sehr lichtbeständig. (Die Abnahme der Lösungsfähigkeit der Stäbchen in taurocholsaurem Natron nach Einwirkung von Formol scheint auch für die Wirbeltiernetzhaut zu gelten; wenigstens fand ich an Netzhäuten von Fröschen und Meerschweinchen, die ich in Formol fixiert hatte, auch nach zwei Tage dauernder Einwirkung von 1 % taurocholsaurem Natron die Stäbchen noch schön erhalten.)

Die hier mitgeteilten Versuche mit taurocholsaurem Natron haben also insofern nicht zu dem gewünschten Ziele geführt, als stets, anscheinend infolge der Lösung eines kleineren oder grösseren Teiles des Pigmentes, stark gefärbte Flüssigkeiten erhalten wurden, deren Färbung zum grossen Teile sehr lichtbeständig war und in welchen daher eine etwa unter dem Einflusse des Lichtes erfolgende Ausbleichung gelösten Sehpurpurs nicht mit genügender Sicherheit erkannt werden konnte. Weitere Versuche, zu welchen es mir bis jetzt an Gelegenheit fehlte, werden darauf gerichtet sein müssen, entweder das Pigment in einer für den Sehpurpur unschädlichen Weise zu eliminieren (s. o.), oder aber das Lösungsmittel für die Stäbchen derart zu variieren, dass dasselbe das Netzhautpigment nicht angreift.

Von Interesse erscheint der durch unsere Beobachtungen erbrachte Nachweis, dass das taurocholsaure Natron die frischen Cephalopodenstäbchen leicht zu lösen vermag, und zwar, wie es scheint, ohne stärkere Beeinträchtigung des in ihnen enthaltenen Sehpurpurs.

Durch die hier mitgeteilten Beobachtungen ist zum ersten Male

das Vorkommen eines dem Sehpurpur der Wirbeltiere sehr nahestehenden, hochgradig lichtempfindlichen Farbstoffes in der Netzhaut eines wirbellosen Tieres nachgewiesen. Es ist sowohl für das Verständnis der Bedeutung des Sehpurpurs für die Funktionen des Organs wie auch für das des physiologisch-chemischen Prozesses von grossem Interesse, dass bei den weit voneinander entfernten Tierformen, die hinsichtlich des Baues wie auch der Ernährung der perzipierenden Elemente so ausserordentlich verschieden sind, so ähnliche lichtempfindliche Stoffe zur Entwicklung gekommen sind.

Alle Bemühungen, einen solchen Farbstoff bei Cephalopoden oder anderen Wirbellosen aufzufinden, sind bisher vergeblich gewesen. Hensen gibt an, im Auge von Pecten Sehpurpur gefunden zuhaben. Er schreibt[1]: „Bei Untersuchung des frischen Auges (von Pecten Jacobaeus) vor drei Jahren fiel mir auf, dass die Stäbchenschicht sehr präzise durch ihre Färbung vor den anderen Geweben der Retina hervortrat; die Färbung war chamois, aber wenn ich mich recht erinnere, auch bisweilen rötlich, ging aber auffallend rasch verloren. Da Boll's Untersuchungen noch nicht bekannt waren, bezog ich das Ausbleichen auf Veränderungen durch die Einflüsse der Präparation und wurde davon abgehalten, den Gegenstand weiter zu verfolgen."

In Hinblick auf diese Angaben habe ich etwa 30—40 Pectenaugen von Tieren untersucht, die ich 1—18 Stunden, zum Teile 44 Stunden lang im Dunkeln gehalten hatte. Ein Teil der Augen wurde bei möglichst herabgesetzter und eben zur Präparation hinreichender Beleuchtung auf dem Objektträger zerlegt und dann bei verschieden starker Belichtung untersucht. Ferner wurden mehrere Augen nach der Eröffnung eine halbe Stunde und länger der direkten Sonne ausgesetzt und dann bei herabgesetzter Beleuchtung mit den dunkel gehaltenen Augen verglichen. In den meisten Fällen fand ich die Netzhäute ganz farblos, in einzelnen in dickerer Schicht schwach gelblich; diese Färbung änderte sich bei der Belichtung nicht. In den Hüllen des Auges fand ich stets neben dem dunkelbraungelben noch ein schön zinnoberrotes Pigment, das aber äusserst lichtbeständig war und auch nach langdauernder Besonnung nicht die geringste Änderung zeigte. Bei Zusatz verdünnter Salzsäure ging diese Farbe allmählich in Orange und Gelb über.

1) 1878. l. c.

Es ist somit kein Zweifel, dass dieser Farbstoff nichts mit Sehpurpur zu tun hat. Dass mir eine Färbung der Stäbchen selbst trotz aller von mir benutzten Vorsichtsmassregeln entgangen sein könne, halte ich für ausgeschlossen.

II.

Die im Vorstehenden mitgeteilten Beobachtungen über den Sehpurpur führten mich zu Untersuchungen über die phototrope Pigmentwanderung im Cephalopodenauge. Dabei ergaben sich einige bisher nicht bekannte Tatsachen hinsichtlich des makroskopischen und mikroskopischen Verhaltens der Cephalopodennetzhaut, deren Kenntnis für das Verständnis des Folgenden erforderlich ist.

Ich schildere zunächst kurz das makroskopische Verhalten der Cephalopodennetzhaut unter verschiedenen Belichtungsverhältnissen.

Beer (1897) sagt von der Netzhaut frisch eröffneter Cephalopodenaugen allgemein, sie sei rotbraun oder schokoladefarbig, „von samtigem, fast immer vollkommen gleichmässigem Aussehen. Bei manchen Arten ist die Eintrittsstelle der Nervuli optici durch Helligkeitsunterschiede gekennzeichnet.“

Hesse[1]) unterscheidet zwei Gruppen von Cephalopoden. An den in Alkohol konservierten Augen soll die eine Gruppe, zu der Rossia, Eledone, Octopus, Sepia, Sepiola gehören, tief braunschwarze Netzhäute zeigen; bei der anderen (Illex, Loligo, Todarodes, Scaeurgus) sei die Netzhaut silbergrau bis gelbgrau. Rawitz[2]) beschrieb in der Netzhaut der frisch getöteten Sepia einen „feinen hellen Streifen, welcher genau in der Richtung des Eintrittes der Fasern des Ganglion opticum meridional verläuft“; er vermisste ihn bei Sepiola und Eledone.

Hesse fand bei den Cephalopoden der ersten Gruppe (mit dunkler Netzhaut) „überall, mit alleiniger Ausnahme von Sepiola, einen quer durch die Retina verlaufenden helleren Streifen, dessen Richtung genau der Zone entspricht, in der auf der Aussenseite die Nervenfasern das Auge verlassen, um zum Sehganglion zu gehen“.

---

1) R. Hesse, Untersuchungen über die Organe der Lichtempfindung bei niederen Tieren. Die Retina der Cephalopoden. Zeitschr. f. wissensch. Zool. Bd. 68 H. 3 S. 379. 1900.

2) Rawitz, Zur Physiologie der Cephalopodenretina. Arch. f. Anat. u. Physiol., physiol. Abt. 1891 H. 5 u. 6.

Hensen[1]) gab von der Netzhaut des Cephalopodenauges an, sie besitze „einen gelben Fleck, der nicht in der Mitte liegt, sondern seitlich an der verdickten Knorpelhaut zu finden ist und also nur bei Verschiebung der Linse nach vorn die Achsenstrahlen bekommen kann". Beer hat wohl kleine distinkte Flecke in der Peripherie, aber auch im Zentrum gesehen, die er aber als pathologische Bildungen auffasst; einen gelben Fleck fand er nicht. Auch ich habe vergeblich nach einem solchen gesucht.

Ich habe bei sämtlichen Cephalopodenarten, die ich auf Sehpurpur untersuchte, Beobachtungen in der Weise angestellt, dass ich das makroskopische Verhalten der Netzhäute verschieden lange Zeit hell bezw. dunkel gehaltener Tiere zunächst frisch, unmittelbar nach der Enukleation, feststellte, weiterhin die oft beträchtlichen Veränderungen ermittelte, die in dem Aussehen der Netzhäute unter dem Einflusse der Konservierungsflüssigkeit (in der Regel 4% Formolseewasser, danach Alkohol von steigender Konzentration) eintraten. Dabei ergab sich für die verschiedenen Arten folgendes Verhalten:

Sepia officinalis. Bei Tieren, die 15, 48 bis 87 Stunden lang dunkel gehalten waren, erscheint die frische Netzhaut schön dunkel purpurfarbig, ohne Andeutung von Streifen, die fixierte gleichmässig grau (Fig. 1), unten eine Spur dunkler als oben. Zuweilen ist in der Mitte ein wagerecht verlaufender Streif angedeutet. Auch bei einem nur vier Stunden dunkel gehaltenen Tiere ist die gehärtete Netzhaut noch ganz hellgrau, in der oberen Hälfte ein wenig heller als in der unteren.

Bei einem drei Stunden im Halbdunkel gehaltenen Tiere erscheint die frische Netzhaut dunkelbraun; in ihr ist ein wagerechter schwarzer Streif sehr deutlich sichtbar. Nach Formolhärtung erscheint an seiner Stelle ein sehr scharf begrenzter schmaler hellgrauer, fast weisser Streif. Das gleiche Verhalten fand ich bei einem Tiere, das erst eine Stunde lang an der Sonne, dann eine halbe Stunde dunkel gehalten war: Das frisch eröffnete Auge zeigt den schwarzen Streif, der schon, nachdem das Auge drei bis vier Minuten in Seewasser ans Helle gebracht war, sich in einen hellgrauen verwandelte. (Fig. 2 zeigt das Aussehen der fixierten Netzhaut dieses Auges.)

Bei Sepien, die in der Frühe tot oder sterbend im Bassin ge-

1) l. c.

funden wurden, sah ich öfter die mittleren Netzhautpartien in ziemlich grosser Ausdehnung hellgrau, nach oben und unten allmählich in dunkleres Grau übergehend.

Die folgende Beobachtung zeigt, von welchen Umständen es abhängen kann, ob man einen hellen oder einen dunklen Streifen in der Netzhaut findet.

Bei einer Sepia fand sich nach Besonnung durch eine Stunde ein schöner, schmaler, wie mit Lineal gezogener heller Streif in dem frisch eröffneten Auge; die obere Netzhauthälfte erschien mehr rötlich, die untere mehr bräunlich; der Streifen lag im rötlichen Gebiete. Im gehärteten Auge erschien die untere Netzhauthälfte grau, die obere rotbraun; der Streif war als hellgraue Linie deutlich zu sehen. Die Membrana hyaloidea löste sich leicht in toto ab; sie war stark pigmenthaltig und zeigte entsprechend dem Netzhautstreif eine feine hellgraue Linie; nach Ablösung der Hyaloidea erschien der Streif in der Netzhaut als dunkle Linie.

Bei einer 2 ½ Stunden besonnten Sepia fand sich frisch in der braunroten Netzhaut ein tiefdunkler schwarzer Streif, der nach Formolfixierung hellgrau wurde.

Sepia elegans. Bei zwei Tieren, die 2½ bezw. 17 Stunden im Dunkeln gehalten waren, fand ich im gehärteten Auge gleichmässig graue Netzhäute mit einer sehr feinen dunkelbraunen Linie etwas nach oben von der Netzhautmitte.

Bei einem anderen 2½ Stunden dunkel gehaltenen Tiere waren die mittleren Netzhautpartien hellgrau, die peripheren etwas dunkler. Zuweilen erschien der Streif im gehärteten Auge hellgrau, in einzelnen Fällen von schmalen dunklen Bändern eingefasst.

Bei einem eine Stunde in mässig hellem Lichte gehaltenen Tiere erschien die untere Netzhauthälfte (des gehärteten Auges) braun, die obere rötlich. In der letzteren fand sich eine feine dunkle Linie.

Bei einem 1½ Stunden im Hellen (aber nicht direkter Sonne) gehaltenen Tiere war die gehärtete Netzhaut tiefdunkel, in den mittleren Teilen etwas weniger dunkel als in den seitlichen.

Bei einem Tiere, das erst 17 Stunden im Dunkeln, dann 4½ Stunden an der Sonne gehalten war, fand sich die untere Netzhautpartie in grösserer Ausdehnung fast schwarz, nach oben hin allmählich etwas weniger dunkel werdend; in diesem Teile war eine feine schwarze Linie sichtbar.

Sepia Orbignyana. Bei einem vier Stunden dunkel gehaltenen Exemplar war die fixierte Netzhaut gleichmässig hellgrau; darin sah man eine feine dunkle Linie, die leicht vertieft erschien.

Bei einem zwei Stunden dunkel gehaltenen Tiere erschien (Fig. 3) ein kleiner, nach oben gelegener Teil der fixierten Netzhaut rotbraun, der übrige, viel grössere hellgrau; in diesem Teile, nach oben von der Mitte, sah man einen schmalen braunen Streif, in dessen Mitte wieder eine sehr feine hellgraue Linie.

Nach Besonnung während einer Stunde fand ich die frische Netzhaut oben und unten braun, in der Mitte ein helleres Band und in dessen Mitte eine feine hellgraue Linie; nach Fixieren erschien diese Linie dunkel, fast schwarz, in einem hellgrauen Bande; die peripheren Netzhautteile waren dunkler, der untere Teil wieder dunkler als der obere.

Sepiola Rondeletti. Bei Tieren, die 2—15 Stunden oder 4—6 Tage im Dunkeln gehalten waren, fand ich die fixierte Netzhaut in der Mitte hellgrau, nach unten hin allmählich dunkler werdend. Von Streifen war bei diesen Dunkeltieren nichts zu sehen.

Bei einem Tiere, das eine Stunde dunkel gehalten war, erschien die fixierte Netzhaut in den oberen zwei Dritteln rötlichbraun, im unteren Drittel hellgrau; im roten Teile war ein verwaschener grauer Streif sichtbar.

Bei einem Tiere, das erst im Hellen, dann eine Stunde im Dunkeln gehalten war, erschien die fixierte Netzhaut ziemlich gleichmässig hell braun und ohne Streifen. Die Netzhaut von an trüben Tagen getöteten Tieren war oft dunkelbraun und ohne Streif, ebenso jene von Tieren, die stundenlang an der Sonne gehalten waren.

Bei zwei Sepiolen, die $2\frac{1}{2}$ Stunden an der Sonne gehalten waren, fand ich in den mittleren Netzhautpartien des gehärteten Auges verwaschene helle Streifen in dunkler Umgebung. Bei einem fünf Stunden besonnten Tiere erschien die Netzhaut oben rotbraun, unten aschgrau; die Grenze zwischen beiden Zonen war scharf, von Streif nichts zu sehen.

Bei einem $4\frac{1}{2}$ Stunden dunkel gehaltenen Tiere fanden sich (Fig. 4) die mittleren Netzhautteile braun, die oberen und unteren wesentlich heller, zum Teile grau (pathologisch?). Bei einem anderen, ebensolange dunkel gehaltenen Tiere waren die mittleren Netzhautpartien heller als die oberen und unteren.

Bei einem sechs Stunden an der Sonne gehaltenen Tiere fand

sich eine mittlere, bandartige hellgraue Zone; nach oben und unten davon war die Netzhaut dunkler; die Hyaloidea löste sich an den dunklen Stellen stark pigmenthaltig ab, entsprechend dem Bande war sie anscheinend pigmentfrei und ganz undurchsichtig.

Eledone moscata. Nach zwei Stunden Dunkelaufenthalt erschien die fixierte Netzhaut schon ganz grauweiss, unten ein wenig dunkler als oben. Ähnlich sah sie bei einem 44 Stunden dunkel gehaltenen Tiere aus. In einem Falle dagegen war die (fixierte) Netzhaut nach 20 Stunden Dunkelaufenthalt noch dunkelrotbraun.

Bei einer Eledone, die erst eine Stunde dunkel gehalten, dann eine Stunde in mässig helles Licht (nicht direkte Sonne) gebracht war, sah ich an der frischen Netzhaut einen schönen schwarzen Streif in dunkelbrauner Umgebung. Es war zunächst kein Unterschied zwischen unterer und oberer Hälfte zu sehen. Nachdem die Netzhaut wenige Minuten im Hellen in Seewasser gelegen hatte, erschien sie in ihrem unteren Drittel stumpfbraun, in den oberen zwei Dritteln mehr rötlich und heller; in diesem Teile lag der dunkle Streif; nach Fixierung in Formol fand sich der erwähnte Farbunterschied zwischen unterer und oberer Hälfte nicht mehr, der dunkle Streif war aber noch schön zu sehen.

Bei einem Tiere, das erst drei Tage dunkel, dann fünf Minuten an der Sonne gehalten worden war, fand sich frisch ein schmaler tiefdunkler, scharf begrenzter Streif, der nach einer Viertelstunde einen grauen Schimmer zeigte. Das fixierte Auge war von graulicher, leicht spontan und ganz pigmentfrei sich ablösender Hyaloidea überzogen. Nach Entfernung derselben erschien die Netzhaut oben und unten grau; in der Mitte war ein schwarzer Streif sichtbar. Auch bei längerer Besonnung fand sich am frischen und oft auch am fixierten Auge der schwarze Streif; Fig. 5 zeigt die (gehärtete) Netzhaut eines im Hellen entbluteten, Fig. 6 die eines drei Stunden an der Sonne gehaltenen Tieres. Die Hellnetzhaut erscheint im Gegensatze zur Netzhaut dunkel gehaltener Tiere dunkelbraun, in der Regel (wie auch am frischen Auge) in der unteren Hälfte mehr bräunlich, in der oberen mehr rötlich. Zuweilen sieht man in den mittleren Partien einen etwas helleren Streif, umgeben von schmalen dunklen Bändern.

So fand ich bei einem Tiere, das erst 18 Stunden im Dunklen, dann fünf Minuten an der Sonne gehalten worden war, schon im

frischen Auge einen feinen weissen Streif und die Netzhaut oben deutlich heller als unten; im fixierten Auge war wieder ein hellgrauer Streif sichtbar, die Netzhaut nach Entfernung der stark pigmenthaltigen Hyaloidea schön rotbraun.

(Der Versuch scheint zu zeigen, dass schon nach Besonnung während fünf Minuten ein ausgiebiges Vorwandern des Pigments erfolgt war; s. u.)

Auch bei einem Auge, das nach 21 Stunden Dunkelaufenthalt 20 Minuten bei mässig hellem Lichte gehalten worden war, fand ich die Netzhaut graubraun, in ihr einen schwarzen, nicht ganz scharf begrenzten Streif. Hier löste sich aber die Membrana hyaloidea ohne Pigment ab. Auch nach ihrer Entfernung war ein schwarzer Streif in dunkelbrauner Netzhaut zu sehen.

Octopus vulgaris und macropus. Die Netzhäute von Tieren, die 18 bezw. 40 Stunden dunkel gehalten waren, erschienen frisch dunkelrotbraun; von Streifen war nichts zu sehen. Die im Hellen oder an der Sonne gehaltenen Tiere zeigten oft, doch nicht immer, im frischen Zustande einen dunklen oder schwarzen Streifen in brauner Netzhaut; auch hier war häufig die untere Netzhauthälfte mehr braun, die obere etwas mehr rötlich; im gehärteten Auge war die Netzhaut dunkelbraun, zuweilen unten deutlich dunkler als oben, der Streif erschien oft hellgrau auf dem dunkleren Grunde.

Die in Fig. 7 abgebildete Netzhaut stammt von einem Tiere, das sechs Stunden teils dem diffusen Tageslichte, teils direkter Sonne ausgesetzt war. Die frische Netzhaut des anderen Auges dieses Tieres war gleichmässig braun ohne Andeutung von Streifen. In Formol wurde sie oben heller braun als unten. (Es ist nicht ausgeschlossen, dass das abgebildete Auge einem abnormen Zustande entspricht.)

Octopus Defilippi. Bei drei Tieren, die 18 bezw. 48 und 90 Stunden dunkel gehalten waren, erschienen die frischen Netzhäute dunkelrotbraun, ohne Streif, die fixierten hellgrau (Fig. 8), nach der Peripherie oben und unten etwas dunkler werdend. In der hellen mittleren Partie war ein feinster, wie mit Lineal gezogener dunkelbrauner Streif zu sehen. Dieser war in ähnlicher Weise an den frischen Netzhäuten von Tieren sichtbar, die 2 1/2 Stunden im Dunkeln gewesen waren, ferner bei einem solchen, das erst zehn Minuten der Sonne ausgesetzt, dann 1 1/2 Stunden dunkel gehalten, endlich auch bei Tieren, die eine bis zwei Stunden der Sonne ausgesetzt gewesen waren.

Bei einem im Hellen getöteten Tiere war an der frischen Netzhaut der Streif schön schwarz, wurde aber in Formol bald grau. Im gehärteten Auge erschien die Netzhaut unten braun, oben mehr rötlichbraun, bei einem zwei Stunden besonnten Tiere dunkelbraun.

Loligo vulgaris und Loligo marmorae. Das frisch eröffnete Auge zeigt bei Hell- wie Dunkeltieren eine sehr dunkle, fast schwarze Netzhaut; an Dunkelaugen ist in der Regel zwischen der oberen und unteren Hälfte kein deutlicher Unterschied zu sehen, zuweilen erscheint die untere mehr bräunlich, die obere mehr rötlich. An Augen, die bis zum Tode im Hellen gehalten waren, erschien die frische Netzhaut zuweilen gleichmässig dunkel; häufig sieht man aber einen deutlichen Unterschied zwischen oberer und unterer Netzhauthälfte: die kleine obere Hälfte erscheint heller, rötlichbraun, während die grössere untere Hälfte dunkler, fast schwarz aussieht. Der Übergang von der einen in die andere Hälfte ist in der Regel ein allmählicher, in einzelnen Fällen stellt er sich aber als ziemlich scharfe horizontale Linie dar; ein hellerer mittlerer Streif ist an frisch eröffneten Augen im allgemeinen nicht zu sehen.

An den gehärteten Augen sind wesentlich grössere Unterschiede zwischen Hell- und Dunkelaugen wahrzunehmen:

Augen, die vor der Enukleation zwei bis fünf Stunden dunkel gehalten waren, zeigen eine gleichmässig hellgraue Netzhaut ohne Andeutung einer helleren Partie in der Mitte. Aber schon an einem Auge, das vor dem Tode eine Stunde lang im Halbdunkel gehalten war, fand ich die gehärtete Netzhaut dunkler grau, in der unteren Hälfte dunkler als in der oberen. Ein Auge, das eine Stunde bei wechselnder Bewölkung im Hellen gehalten war, zeigte nach Fixierung einen schönen, ca. 4 mm breiten hellgrauen Streifen in der Netzhautmitte; bei zunehmender Belichtung wird dieser Streif immer schmaler und kann schliesslich vollständig verschwinden; nach genügend langer Besonnung erscheint die gehärtete Netzhaut gleichmässig tief dunkel, fast schwarz; so fand ich sie z. B. bei einer Loligo marmorae, die 2 1/2 Stunden der Sonne ausgesetzt war.

Fig. 9 zeigt ein Auge von Loligo vulgaris, die eine Stunde im Dunkeln, danach eine Stunde an der Sonne gehalten worden war, Fig. 10 das Auge einer im Hellen gestorbenen Loligo marmorae. Fig. 11 und 12 geben die Netzhaut von Loligo vulgaris nach verschieden langer Lichtwirkung wieder.

Rossia macrosoma. Bei einem durch fünf Tage be-

ständig im Dunkeln gehaltenen Tiere erschien die frische Netzhaut dunkelrot, die gehärtete zeigte einen schönen, breiten, nicht scharf begrenzten, an einzelnen Stellen wie doppelt erscheinenden grauen Streifen, der eine heller graue obere Netzhauthälfte von einer viel dunkler grauen unteren trennte.

Dagegen zeigte die Netzhaut eines anderen Tieres, das gleich lang dunkel gehalten, dann aber zehn Minuten der Sonne ausgesetzt worden war, frisch eine schokoladenbraune Farbe und ca. 2 mm breiten hellen Streif mit Einlagerung von unregelmässigen, viel helleren Stellen. Das gehärtete Auge bot das in Fig. 13 wiedergegebene Bild: Die peripheren Netzhautteile sind oben und unten dunkelbraunrot, in der Mitte ist ein feiner heller Streif sichtbar und zu beiden Seiten von ihm unregelmässig gesprenkelte helle Stellen (zum Teile pathologisch?).

An der gehärteten Netzhaut eines vier Stunden dunkel gehaltenen Tieres fand sich eine feine horizontale hellgraue Linie, die eine grössere, dunklere untere von einer kleineren helleren oberen Partie trennte.

Bei einem Tiere, das 2 $^{1}/_{2}$ Stunden der Sonne ausgesetzt war, erschien die frische Netzhaut hellschokoladenbraun, und es war kein Unterschied zwischen oberer und unterer Hälfte zu sehen. Durch die Netzhaut zog ein feiner schmaler, tiefschwarzer Streif; im gehärteten Auge dagegen erschien derselbe hellgrau. Das gleiche Verhalten fand ich bei einem zweiten, längere Zeit besonnten Auge; die untere Netzhauthälfte erschien viel dunkler als die obere.

S c a e u r g u s (u n i c i r r u s und t e t r a c i r r u s). Bei einem 24 Stunden dunkel gehaltenen Tiere erschien die frische Netzhaut schön rotbraun, nach der Härtung hellgrau; dieses Grau war in den mittleren Netzhautteilen etwas heller als oben und unten.

Bei einem Tiere, das an einem trüben Regentage 3 $^{1}/_{2}$ Stunden im Hellen gehalten war, erschien die frische Netzhaut stumpf schokoladenbraun mit feinem dunklem Streif; auch nach der Fixierung war sie graubraun, die untere Hälfte deutlich dunkler als die obere; die Grenze zwischen beiden war durch einen scharfen dunklen Streif gebildet.

Ein ähnliches Bild fand sich bei einem Scaeurgus unicirrus, der 3 $^{1}/_{2}$ Stunden der Sonne ausgesetzt war, dabei aber seine spaltförmigen Pupillen vollständig geschlossen hatte; der schwarze Streif in der Netzhaut erschien hier scharf, wie mit dem Lineal gezogen (Fig. 14).

Illex Coindetti. Von Illex Coindetti standen mir nur vier lebende Exemplare zur Verfügung; von diesen waren drei anscheinend schon sehr matt, nur eines frisch und lebhaft.

Bei den drei ersten erschien die Netzhaut frisch bräunlichrot, im gehärteten Auge hellgrau, obschon die Tiere vor der Enukleation noch einige Minuten, eines sogar noch 1 ½ Stunden lang der Sonne ausgesetzt waren. Das vierte, sehr lebhafte Tier dagegen zeigte frisch eine gleichmässig rotbraune Netzhaut, in deren Mitte ein feiner gerader, aber nicht sehr deutlicher Streif sichtbar war. Im gehärteten Auge erschien die Netzhaut noch dunkler als im frisch eröffneten; auf dem Querschnitte war sie gleichmässig hellbraun, unten etwas dunkler als oben. Es war also (s. u.) nur bei diesem einen, noch in genügend frischem Zustande besonnten Tiere eine Pigmentwanderung vor sich gegangen.

Todaropsis Veranyi. Bei einem zwei Stunden im Halbdunkel gehaltenen Tiere erschien die frische Netzhaut rotbraun, die gehärtete in der oberen Hälfte mehr grau, in der unteren mehr braun, auf dem Querschnitte oben hellgrau, unten tiefbraunrot. Bei einem moribunden Tiere, das noch zehn Minuten an die Sonne gebracht worden war, war die frische Netzhaut gleichmässig schokoladenbraun, ohne Streif, auf dem Querschnitte farblos. Bei einem anderen, noch sehr frischen Exemplare, das drei Stunden teils bei Sonne, teils bei bedecktem Himmel dem Lichte ausgesetzt war, erschien auch die gehärtete Netzhaut dunkelrotbraun, in der oberen Hälfte vielleicht eine Spur heller als in der unteren, auch auf dem Schnitte; die Membrana hyaloidea löste sich stark pigmenthaltig ab. Auch bei einem zwei Stunden besonnten Tiere erschien die Netzhaut auf dem Querschnitte grossenteils rotbraun. (Bei verschiedenen Exemplaren von Todaropsis waren anscheinend krankhafte Veränderungen in der Netzhaut vorhanden. Einmal fand ich das folgende Bild, von dem ich nicht sagen kann, ob es normal oder pathologisch ist: Bei einem Tiere, das 24 Stunden, nachdem ich es ins Dunkelbassin gesetzt hatte, tot gefunden worden war, zeigte die gehärtete Netzhaut (Fig. 15) hellgraue Farbe und in der Mitte einen ca. 4 mm breiten viel dunkleren und rötlichen Streifen mit ziemlich scharfer Grenze.)

Die hier kurz zusammengestellten Beobachtungen zeigen, dass bei allen von mir untersuchten Cephalopodenarten, den als pelagische

wie den als litorale bezeichneten, die Farbe der frischen Netzhaut braun bis braunrötlich erscheint, und dass die der gehärteten Netzhaut wesentlich durch die Belichtung des Auges während der letzten Lebensstunden bestimmt wird. Es ist bei fast allen von mir untersuchten Cephalopodenarten die fixierte Netzhaut nach kürzerem oder längerem Dunkelaufenthalte mehr oder weniger gleichmässig hellgrau. Nach vorausgegangener Belichtung erscheinen alle Netzhäute mehr oder weniger braun bis schwarz infolge Vorwanderns des Pigments bis zur vitralen Netzhautoberfläche. Die Schnelligkeit, mit welcher das Pigment wandert, ist bei verschiedenen Arten offenbar ziemlich verschieden, so dass bei manchen — Octopus, Eledone, Sepia — schon nach kurzem Aufenthalte in mässig hellem Lichte die Netzhaut braun erscheint, während bei anderen, Loligo, Scaeurgus, Illex, Todaropsis, im allgemeinen erst nach Einwirkung von hellerem bezw. Sonnenlichte eine braun gefärbte Netzhaut gefunden wird. In der Regel erfolgt die Wanderung in der Weise, dass zunächst das Pigment in den peripheren Partien der unteren Netzhautteile vorrückt, dann jenes in den peripheren Partien der oberen Netzhautteile, so dass nach einem bestimmten Belichtungsgrade die mittleren Netzhautpartien im gehärteten Auge als mehr oder weniger verwaschener hellgrauer Streif in dunkler Umgebung erscheinen können.

Auf die bisher nicht genügend berücksichtigte Tatsache des Einflusses vorausgegangener Belichtung auf die Farbe der fixierten Netzhaut sind wohl verschiedene scheinbare Widersprüche in der Literatur zurückzuführen; so hat Grenacher angegeben, dass bei Sepia und Loligo nur die „äussere“ Pigmentzone im Sockel der Stäbchen erhalten sei, was für Sepia von Rawitz und von Hesse als irrtümlich bezeichnet wird; tatsächlich braucht aber ein Irrtum Grenacher's nicht vorzuliegen; denn bei einer z. B. am frühen Morgen etwa noch im Halbdunkel getöteten Sepia kann, wie wir sahen, sehr wohl das von Grenacher geschilderte Verhalten gefunden werden. Andrerseits fanden wir sogar bei Loligo die Netzhaut grösstenteils schwarz und selbst im Gebiete des Streifs tiefdunkelgrau, wenn das Tier einige Zeit dem Sonnenlichte ausgesetzt gewesen war.

Der etwas nach oben von der Netzhautmitte sichtbare Streif erscheint nicht, wie angegeben wird, stets hell, sondern in einer Reihe von Fällen tiefdunkel, fast schwarz in weniger dunkler Umgebung. Er findet sich auch keineswegs nur bei den litoralen Formen (Hesse), sondern kann in ganz ähnlicher Weise auch bei den von Hesse als pelagische bezeichneten Formen (Scaeurgus und Rossia) deutlich sichtbar sein, während er andererseits bei solchen Sepien, die dunkel gehalten waren, ganz oder fast ganz unsichtbar

sein kann. Danach erscheint weder eine scharfe Scheidung von Cephalopodenarten mit heller und solchen mit dunkler Netzhaut noch die Einteilung in Arten mit und ohne Streif angängig. Ob der Streif heller oder dunkler erscheint als die Umgebung, hängt nicht ausschliesslich von der jeweiligen Stellung des Pigmentes, sondern jedenfalls zum Teile von ganz andersartigen Umständen ab.

Die Angabe (Beer, Rawitz), dass dieser Streif genau dem Eintritte der Nervuli optici entspreche, ist nicht zutreffend. Ich habe die einschlägigen Verhältnisse bei verschiedenen Arten genauer untersucht und gefunden, dass einmal die Richtung des Streifs durchaus nicht jener des Sehnerveneintrittes entspricht, sondern in vielen Fällen mit ihr einen mehr oder weniger spitzen Winkel bildet; zweitens kann die Haupteintrittsstelle der Sehnerven mehrere Millimeter weit von der Stelle des Streifs entfernt sein, und drittens pflegt die Zone, innerhalb deren die Sehnervenfasern die Sclera durchsetzen, viel breiter zu sein als der helle Streif in der Netzhaut. Lage und Anordnung des letzteren ist offenbar wesentlich oder ausschliesslich durch die Sehbedürfnisse des Tieres bestimmt, nicht aber durch anatomische Beziehungen zu dem Sehnerven und von diesem in ziemlich weiten Grenzen unabhängig.

Die anatomischen Verhältnisse der Netzhaut im Streifengebiete werden im folgenden Abschnitte genauer zu erörtern sein. Zunächst sei noch kurz das makroskopische Verhalten der Membrana hyaloidea in verschiedenen hell bezw. dunkel gehaltenen Augen besprochen.

Die Membrana hyaloidea löst sich bei den in Formol fixierten und in Alkohol nachgehärteten Augen häufig spontan, in vielen Fällen bei schwachem Ziehen mit der Pinzette leicht, in einigen Fällen schwerer von der Unterlage ab. Auch hier zeigt sich der Einfluss der Belichtung auf das Aussehen der abgezogenen Membran in auffälliger Weise: An den Augen dunkel gehaltener Tiere löste sich die Membran in der grossen Mehrzahl der Fälle völlig pigmentfrei von der Netzhaut. Dies war z. B. meist der Fall bei Sepia, Octopus, Eledone. An belichteten Augen dagegen findet sich verhältnismässig häufig (aber nicht ausnahmslos) die Hyaloidea, auch wenn sie sich spontan von der Netzhaut löste, mehr oder weniger stark pigmenthaltig, und zwar ist das Pigment auf ihr in zahlreichen, meist rundlichen Kugeln angehäuft. Solches liess sich auch für belichtete Loligoaugen feststellen. An Dunkelaugen fand ich gelegent-

lich (jedoch nicht eben häufig) auf der Membran farblose, mit Eosin sich schwach rosa färbende Kugeln aufliegend.

Entsprechend dem Streif in der Netzhaut zeigte die Membran kein ganz konstantes Verhalten: In manchen belichteten Augen fand ich die Hyaloidea im allgemeinen stark pigmenthaltig und nur entsprechend dem Streifen pigmentfrei; in anderen Fällen war sie umgekehrt nur dem Streif entsprechend pigmenthaltig oder doch hier deutlich stärker pigmenthaltig als in der Umgebung; in wieder anderen Fällen fand sich entsprechend dem Streif auf der Hyaloidea eine graue Partie, die gelegentlich wie eine Auflagerung aussah, zuweilen aber in der Membran zu liegen schien.

Aus diesen Untersuchungen, die ich hauptsächlich an Loligo, Eledone, Sepia und Octopus angestellt habe, geht also hervor, dass die Wanderung des Pigmentes über die innere Oberfläche der Netzhaut hinaus erfolgt, so dass dieses hier in sehr innige Berührung mit der Hyaloidea kommt und sich bei der Konservierung oft leichter von der Netzhaut als von jenem Häutchen trennt; das verschiedene Aussehen des Netzhautstreifs im frischen und im konservierten Auge bei den früher besprochenen Fällen kann wenigstens zu einem Teile auf die geschilderten Eigentümlichkeiten der Membran entsprechend dem Streif bezogen werden.

III.

Bei der mikroskopischen Untersuchung der im Vorstehenden besprochenen Cephalopodennetzhäute ergaben sich einige interessante Befunde, die hier im Zusammenhange mit dem Verhalten des Pigmentes unter dem Einflusse des Lichtes geschildert werden sollen.

Genauere Untersuchungen über das anatomische Verhalten der Netzhäute in den verschiedenen Regionen des Auges fehlten bisher. In der Literatur finde ich nur eine Angabe Hensen's aus dem Jahre 1865 (nach Untersuchungen an Eledone, Sepia, Sepiola, Loligo), wonach die Stäbchen „gestreckte parallelwandige, an beiden Enden abgestumpfte Gebilde sind, die an der Peripherie kürzer und dicker, am Zentrum feiner und länger gefunden wurden. Bei Eledone sind sie im Zentrum 0,26 mm lang, 0,003 mm breit, an der Peripherie 0,06 mm lang, 0,006 mm breit“ . . . .

Dagegen betont unter den neueren Forschern Hesse gelegentlich seiner Zählungen der Netzhautelemente (s. u.) ausdrücklich, dass die Verteilung derselben eine sehr gleichmässige, die Zählung

daher sehr einfach sei, und Chun gibt bei seiner interessanten Beschreibung der Augen von Tiefseecephalopoden an, das normale Cephalopodenauge sei u. a. durch eine gleichmässig dicke Netzhaut charakterisiert.

Ich hatte schon früher in einer kurzen Notiz angedeutet, dass bei manchen Cephalopodenarten die Stäbchen entsprechend dem „Streifen" sich wesentlich anders verhalten als in den benachbarten Partien; dies lässt sich leicht auf Schnitten nachweisen, die senkrecht zur Streifenrichtung geführt sind. Bei verschiedenen Arten findet man hier wesentlich verschiedenes Verhalten. Aus der folgenden Darstellung geht hervor, dass bei einer Reihe von Cephalopoden, und zwar bei „pelagischen" wie bei „litoralen", sich eine schmale, mittlere, von den benachbarten oft ziemlich scharf abgegrenzte Netzhautzone findet, innerhalb deren die Stäbchen viel schmäler und länger sind als in der übrigen Netzhaut. Auf einem senkrecht durch die Streifengegend geführten Schnitte erscheint schon makroskopisch die Netzhaut entsprechend dem Streif deutlich, oft beträchtlich dicker als in den übrigen Teilen. Auch die Limitanszellen und die Kernregion zeigen hier besonderes Verhalten, und auch die Pigmentwanderung erfolgt innerhalb des Streifs in wesentlich anderer Weise als in der Nachbarschaft. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass es sich hier um einen Streif des deutlichsten Sehens handelt. Bei einer zweiten Gruppe von Cephalopoden, der wiederum sowohl „pelagische" wie „litorale" Formen angehören (z. B. Sepiola, Loligo, Todaropsis), finde ich jene mittlere Zone der langen schmalen Stäbchen nicht; die Netzhaut erscheint auf dem Schnitte überall angenähert gleich dick, bei Loligo vielleicht peripher nach oben etwas dicker als unten, bei Sepiola umgekehrt unten deutlich dicker als oben. Dagegen findet auch bei diesen Arten die Pigmentwanderung in der mittleren Netzhautzone in etwas anderer Weise statt als peripher oben und unten.

Über diese Pigmentwanderung lagen bisher nur folgende Beobachtungen vor:

Rawitz sah zuerst bei Eledone, Sepia, Sepiola und Octopus eine Änderung der Pigmentstellung unter dem Einflusse langdauernder Verdunkelung. Er schreibt: „Die beschriebene Pigmentverteilung (sc. Innenstellung des Pigmentes mit Ausnahme der Stelle des hellen Streifs; siehe weiter unten), finde ich, wenn die genannten Tiere unter normalen Belichtungsverhältnissen gelebt haben." „Hat man

die Tiere im Dunkelzimmer gehalten, so erkennt man an feinen Längsschnitten durch die Retina nach 24 Stunden und besser noch nach 48 Stunden folgendes: Das Pigment hat sich vom inneren Ende der Rhabdomregion völlig zurückgezogen, meist so weit, dass nur noch das äussere, d. h. der Sockelregion benachbarte Viertel Pigment enthält . . . . Interessant ist dabei folgende Beobachtung. Hatten die Eledone — und nur an dieser Spezies sind die Versuche mit farbigem Lichte ausgeführt worden — eine solche Stellung angenommen, dass nur ein Teil jedes Auges belichtet, der andere im Dunkeln geblieben ist, so zeigt sich auch im mikroskopischen Präparate die Pigmentverteilung in dem belichtet gebliebenen Abschnitte der Netzhaut wie in der normalen; ich konnte also in derselben Retina und in demselben Schnitte beide Modi der Pigmentierung konstatieren." Hesse beobachtete das Ergebnis der Pigmentverschiebung an der Retina einer Sepia, die er zwei Tage in der Dunkelkammer hielt. Ob bei den von Hesse als „pelagische" aufgeführten Formen „mit hellgrauer Netzhaut" überhaupt phototrope Pigmentverschiebungen vorkommen, war bisher nicht untersucht.

Die erwähnten Beobachtungen bei sehr lange dauernder Verdunklung sind wohl an sich sehr wertvoll, können uns aber über die physiologische Bedeutung der Pigmentwanderung nicht genügend orientieren; denn unter gewöhnlichen Verhältnissen dauern Belichtung und Verdunkelung im allgemeinen nicht mehr als etwa 12 Stunden, und eine Pigmentverschiebung kann physiologisch nur dann von Bedeutung sein, wenn sie verhältnismässig rasch erfolgt.

Die ersten Angaben über eine Lageveränderung des Pigmentes in der Cephalopodennetzhaut machte wohl Babuchin[1]), ohne aber die Abhängigkeit derselben von der Lichteinwirkung zu erkennen. Er sagt: „Obwohl die Stäbchen der Sepia beinahe beständig von einer Schicht Pigment überdeckt sind, so stiess ich später dennoch auf Exemplare, wo diese Schicht gar nicht vorhanden war. Dieselbe Erscheinung wiederholte sich auch bei Loligo. Der Grund liegt aber darin, dass die Pigmentsubstanz einer Dislokation fähig ist und aus der einen Abteilung der Zelle in eine andere übergehen kann . . . ."

Bei Hensen finde ich folgende Angaben: „Es (sc. das Pigment) bildet eine nicht unbeträchtliche Lage, auf welcher die Stäbchen ruhen; auch erstreckt es sich in die Stäbchenlage hinein und erfüllt bei Loligo und Eledone die Spitzen wiederum dichter; übrigens wird es wohl auch hier eine gewisse Beweglichkeit besitzen und also Lagenveränderungen eingehen können. Es ist mir sogar höchst

1) Babuchin, Vergleichend-histol. Studien. I. Über den Bau der Cephalopodenretina. Würzburger naturw. Zeitschr. Bd. 5. 1869.

wahrscheinlich, dass eine so dichte Ansammlung, wie sie sich gewöhnlich bei Eledone an den inneren Enden findet, nur künstlich durch das Hervorquellen der Tropfen am freien Ende, die mit einer Verschiebung des Pigments verbunden war, entstanden ist, wenigstens findet man hin und wieder Stellen, wo das Pigment gleichmässiger durch die ganze Schicht verteilt ist."

Ferner gehört wohl auch eine Angabe Max Schultze's hierher, der die tiefste Pigmentierung, übereinstimmend mit Hensen und anderen, bei Octopus vulgaris beobachtet hat, „doch durchaus nicht bei allen Exemplaren gleichmässig, auch nicht an allen Stellen der Retina".

Über das Verhalten des Pigmentes in dem Gebiete des Netzhautstreifs machte Rawitz folgende Angaben: „Auf einem dünnen Längsschnitte durch die gehärtete Retina, welcher den hellen Streif senkrecht kreuzt, erkennt man, dass entsprechend demselben die innere Pigmentanhäufung fehlt. Es reichen die von der äusseren Pigmentanhäufung nach der inneren, freien Fläche der Retina strebenden Pigmentzüge nicht bis zum inneren Ende der Retinazellen, sondern hören vor demselben auf, so dass die innerste Partie der Rhabdomregion ungefähr in $^1/_5$ ihrer Ausdehnung pigmentfrei ist. Im Zentrum des hellen Streifs reicht das Pigment am wenigsten weit nach innen; nach den Seiten zu nähert es sich allmählich dem inneren Ende der Retinazellen, um peripher von dem Streif die innere knöpfchenförmige Pigmentanhäufung zu bilden" . . . .

Die folgende Darstellung enthält einen kurzen Überblick über die wesentlichen Ergebnisse meiner Untersuchungen an verschiedenen Cephalopodenaugen bei wechselnden Belichtungsverhältnissen.

Sepia officinalis. Die Netzhaut wird in einem horizontalen, streifenförmigen, etwas nach oben von der Netzhautmitte gelegenen Gebiete auf dem Schnitte beträchtlich dicker gefunden als in den übrigen Teilen. In diesem Gebiete sind die Stäbchen wesentlich schmaler, und dementsprechend stehen die zugehörigen Kerne viel dichter als in der Nachbarschaft. Ich habe bei mehreren Tieren ziemlich übereinstimmend folgende Zahlen gefunden: Stäbchenlänge im Streifengebiete 0,21 mm, etwas seitlich davon 0,14 mm. Im Streifengebiete zählte ich auf einer Strecke von 1 mm ca. 1000 Kerne, etwas seitlich davon auf der gleichen Strecke nur noch 500.

Ähnliche Verhältnisse fand ich auch bei Sepia Orbignyana; entsprechend dem Streif zählte ich ca. 850 Kerne auf 1 mm, nur $^1/_2$ mm nach unten davon nur noch 450 und 1 mm weiter nur noch 280 auf einer gleich grossen Strecke. Die Kerne erscheinen in den seitlichen Netzhautteilen vorwiegend rund, dagegen in der Mitte lang-

gestreckt, zum Teile, anscheinend infolge der dichteren Anordnung, spindelförmig. Die Limitanszellen ragen hier weit nach hinten aus der Pigmentzone vor, während sie an den Seiten fast oder ganz von Pigment verdeckt sind.

Bei einem 15 Stunden dunkel gehaltenen Tiere fand ich das Pigment nirgends in Knöpfchen innenständig; in der unteren Netzhauthälfte reichte es in feinen Linien bis dicht an das vitrale Stäbchenende und endigte hier innerhalb der Stäbchen selbst in Form von schlanken, keulenförmigen Verdickungen. Gegen die mittleren Netzhautpartien hin findet man, in ganz allmählichen Übergängen, zunächst das innere Drittel, weiter oben etwa die innere Hälfte der Stäbchen ganz frei von Pigment; noch weiter oben ist es wieder ein wenig weiter vitralwärts gelagert. Fig. 16 zeigt die Verhältnisse im Streifengebiete. Bei einem 87 Stunden dunkel gehaltenen Tiere war das Pigment vollständig auf die Stäbchenbasis zurückgezogen. In dem Streifengebiete der langen schmalen Stäbchen zeigte das hier fast ganz skleral liegende Pigment an der Stäbchenbasis sehr regelmässige Knöpfchen und Kölbchen, ganz ähnlich jenen am vitralen Ende belichteter Augen (vgl. auch Fig. 16). Auch von ihnen gehen feine, stark geschlängelte Pigmentzüge in das Stäbcheninnere. Dieses wandernde Pigment ist, besonders deutlich in den mittleren Netzhautteilen, von dem stabilen Pigmente getrennt, das nach aussen von ersterem in grossen Mengen kolbige Zellen erfüllt, die hier oft deutlich voneinander gesondert erscheinen und häufig stark pigmentierte, zum Teile aber auch pigmentfreie Fortsätze nach aussen bis zur Limitans schicken.

Ähnlich ist bei einer nur vier Stunden dunkel gehaltenen Sepia off. fast in der ganzen Netzhaut das Pigment bereits bis auf die Basis zurückgezogen und bildet hier wieder die vorher beschriebenen Knöpfchen; die Stäbchen selbst erscheinen frei von Pigment.

Dagegen fand ich bei einer drei Stunden im Halbdunkel gehaltenen Sepia das Pigment schon durchweg innenständig (d. h. vitral), auch in der mittleren Zone der feinen Stäbchen dichte vitrale Knöpfchen bildend; die Knöpfchen sind hier nur viel schmaler als an den Seiten. Hinter den vitralen Knöpfchen findet man den vitralen Stäbchenabschnitt von feinen Pigmentlinien durchzogen, in der mittleren Zone der langen Stäbchen viel dichter und reichlicher als in der übrigen Netzhaut.

Bei einer Sepia, die erst eine Stunde an der Sonne, dann eine

halbe Stunde dunkel gehalten worden war, und bei der ich am frischen Auge einen schön dunkelvioletten, bei der Härtung grau werdenden Streifen in der Netzhaut gefunden hatte (vgl. Fig. 2), zeigte sich das Pigment oben und unten in dichten Knöpfchen noch innenständig, dagegen entsprechend dem mittleren Streif schon so beträchtlich zurückgezogen, dass hier keine Pigmentknöpfchen mehr zu sehen waren.

Bei einer eine Stunde besonnten Sepia war das Pigment überall in dichten Knöpfen innenständig, auch im Streifengebiete; die Hyaloidea hatte sich überall pigmenthaltig (spontan) abgelöst. Die Stäbchen zeigten entsprechend dem Streifengebiete hinter den Knöpfchen noch feine Pigmentzüge, die an den seitlichen Netzhautteilen fehlten.

Bei einer 1½ Stunden besonnten Sepia war überall das Pigment innenständig, und zwar so dicht, dass es ein gleichmässig schwarzes Band an der vitralen Netzhautoberfläche zu bilden schien.

Für die Pigmentverhältnisse im Gebiete des hellen Streifs hatte Rawitz bei Sepia angegeben (s. o.), dass im Zentrum des hellen Streifens das Pigment am wenigsten weit nach innen reiche und nach den Seiten zu sich allmählich dem inneren Ende der Retinazellen nähere, um peripher von dem Streifen die innere knöpfchenförmige Pigmentanhäufung zu bilden.

Unsere Beobachtungen zeigen, dass eine derartige Angabe genau nur für einen ganz bestimmten Belichtungsgrad zutrifft, dass aber bei etwas stärkerer Belichtung das Pigment auch im Streifengebiete selbst in dichten Knöpfen innenständig gefunden wird.

Sepia elegans. Auch bei dieser kleinen Cephalopodenart fand ich etwas nach oben von der Netzhautmitte in einer Breite von ca. 1 mm die Stäbchen viel länger und schlanker als seitlich davon: In der Mitte war die Stäbchenlänge bei einigen von mir gemessenen Exemplaren ca. 0,14 mm, etwas seitlich nur noch 0,10 mm. Die Zahl der Kerne betrug im Streifengebiete auf einer Strecke von 1 mm ca. 1600, wenig seitlich davon nur noch 500.

Bei einem 2½ Stunden dunkel gehaltenen Tiere war (Fig. 17) das Pigment nirgends in Knöpfchen innenständig, in dem unteren Netzhautabschnitte etwa die vitrale Hälfte der Stäbchen, oben etwa ²/₃—³/₄ derselben ganz frei von Pigment, während sie in der mittleren Zone so gut wie ganz frei von Pigment erschienen; letzteres war hier nur an der Stäbchenbasis in dicken Kolben zu sehen, und

zwar, ebenso wie Sepia officinalis, vom stabilen Pigmente an vielen Stellen deutlich gesondert. Besonders auffällig ist das verschiedene Verhalten der Limitanszellen innerhalb und ausserhalb des Streifengebietes: in ersterem sieht man die Limitanszellen weit nach hinten aus der Pigmentschicht hervorragen, während sie ausserhalb des Streifs grossenteils von Pigment verdeckt erscheinen.

Bei einer $1^1/_2$ Stunden diffusem Lichte ausgesetzten Sepia fand ich (Fig. 18) das Pigment beinahe auf der ganzen Netzhaut in dicken Knöpfchen innenständig, so dass es fast ein schwarzes Band zu bilden schien. Entsprechend dem Gebiete der langen schmalen Stäbchen reichte auf einer Strecke von ca. 0,1 mm das Pigment nicht bis zum vitralen Stäbchenende, sondern blieb von ihm, eine flach bogenförmige Zone bildend, so weit entfernt, dass in der Mitte etwa $^1/_8$ des innersten Stäbchenteiles frei von Pigment erschien. Letzteres erfüllte die skleralwärts an jene bogenförmige Zone grenzenden Stäbchenteile in einer Ausdehnung von etwa $^1/_4$ der Stäbchenlänge und bildete nach den Seiten hin auf einer kurzen Strecke noch eine zweite Pigmentzone hinter den hier bereits innenständigen Knöpfchen.

Eledone moscata. Auch hier findet man wieder in einem mittleren streifenförmigen Gebiete die Stäbchen wesentlich länger und schmäler als an den Seiten, die Netzhaut auf dem Schnitte entsprechend dicker.

Bei einem sehr kleinen Exemplare, wo die Verhältnisse sich besonders leicht übersehen liessen, mass ich in der Mitte eine Stäbchenlänge von 0,11 mm, wenig seitlich davon eine solche von 0,09 mm. Im Streifengebiete zählte ich auf einer Strecke von 1 mm 850 Kerne, wenig seitlich davon nur noch etwa die Hälfte.

Bei einem 40 Stunden dunkel gehaltenen Tiere war das Pigment in der oberen und unteren Peripherie der Netzhaut noch zum Teile in sehr feinen Knöpfchen innenständig, zum Teile in langen Zügen in der vitralen Hälfte der Stäbchenreihen sichtbar. In der mittleren Netzhautzone fanden sich keine vitralen Knöpfchen, das Pigment hatte sich so weit zurückgezogen, dass etwa $^1/_{10}$—$^1/_{12}$ der innersten Stäbchenteile frei von Pigment war. Letzteres war in langen Zügen sichtbar, die skleralwärts in die erwähnten basalen Pigmentkolben übergingen.

Bei einem 20 Stunden dunkel gehaltenen Exemplar (das aber einzelne anscheinend krankhafte Veränderungen zeigte), war das Pigment überall in Knöpfchen innenständig, ausserdem fanden sich

hier aber auch die basalen Kolben des mobilen Pigments deutlich ausgesprochen (vgl. Fig. 19, nach einem peripher gelegenen Netzhautstücke gezeichnet).

Bei einer zwei Stunden dunkel gehaltenen Eledone war das Pigment in den peripheren Netzhautteilen oben und unten grossenteils in vitralen Knöpfchen innenständig, entsprechend dem Streif waren auf einer kurzen Strecke nur vereinzelte Knöpfchen sichtbar, im übrigen etwa das innere Zehntel der Stäbchen pigmentfrei; der übrige Teil der Stäbchen zeigte lange Züge feinen Pigments.

Bei einem Exemplar, das nach einer Stunde Dunkelaufenthaltes zehn Minuten besonnt war, fand sich das Pigment bereits überall in feinen Knöpfchen innenständig, auch in der Streifengegend. Die Stäbchen waren allenthalben in ihrer ganzen Länge von sehr feinen Pigmentzügen durchsetzt. Entsprechend dem Streif fand sich dicht hinter den Knöpfchen noch eine ziemlich breite Zone feiner, dicht stehender Pigmentlinien. Ebenso war bei einer im Hellen durch Entbluten getöteten Eledone (Fig. 20) das Pigment überall in dichten Knöpfchen innenständig; entsprechend dem Streifen waren die Knöpfchen viel feiner und vielleicht etwas spärlicher als an der übrigen Netzhaut. Vielfach erschienen sie hier nicht rund, sondern dreieckig. Ferner sah man hier ausser den feinen Pigmentlinien zwischen den Stäbchen noch kleine rundliche Pigmentklümpchen. (Diese Netzhaut war nicht, wie die übrigen, in Formol, sondern in Alkohol fixiert worden.) Fig. 21 zeigt die Netzhaut einer im Hellen getöteten Eledone entsprechend dem Streif und seiner nächsten Nachbarschaft.

Auch bei einer erst 21 Stunden dunkel, dann 20 Minuten im Hellen (aber nicht in direkter Sonne) gehaltenen Eledone war überall das Pigment in Knöpfchen innenständig, auch entsprechend dem Streifen.

Wir finden also hier (falls nicht etwa zufällig mehrere der Augen abnorm gewesen sein sollten) selbst bei langdauernder Verdunkelung das Rückwandern des Pigmentes in sehr viel geringerem Umfange als bei den anderen bisher von mir untersuchten Arten. Kurz dauernde, mässige Belichtung genügt, um auch im Streifengebiete das Pigment in dichten Knöpfchen an die vitrale Oberfläche der Netzhaut treten zu lassen.

Octopus Defilippi. Bei dem kleinen Octopus Defilippi fand ich stets die Netzhaut in ihren mittleren Teilen, in einer Breite von ca. 1,5 mm, beträchtlich dicker als seitlich. Die Stäbchenlänge betrug im mittleren Gebiete ca. 0,11 mm, etwas seitlich davon nur noch

0,06 mm; im ersteren waren auf einer Strecke von 1 mm ca. 800 Kerne zu zählen, wenig seitlich davon nur noch etwa 420.

Bei einem 18 Stunden dunkel gehaltenen Tiere war das Pigment in den peripheren Netzhautpartien in spärlichen Knöpfchen innenständig, hinter den Knöpfchen in langen Reihen zwischen den Stäbchen zu sehen. Gegen die mittleren Netzhautteile hin hat es sich etwas vom vitralen Ende der Stäbchen zurückgezogen, so dass etwa das innerste Zehntel derselben pigmentfrei ist. Das Pigment bildet zwischen oder innerhalb der kurzen seitlichen Stäbchen selbst noch hellbräunliche langgestreckte kolbenförmige Gebilde, dagegen an den langen, schmalen mittleren Stäbchen nur feine, aus spärlichen Körnchen gebildete Züge.

Bei einem 48 Stunden dunkel gehaltenen Tiere waren fast nirgends innenständige Knöpfchen zu sehen (einige wenige fanden sich in den untersten Netzhautpartien). In den mittleren und oberen Netzhautteilen war etwa das innere Viertel der Stäbchen ganz frei von Pigment.

Bei einem Tiere, das erst 48 Stunden dunkel gehalten, dann eine Viertelstunde diffusem Lichte (aber nicht der Sonne) ausgesetzt war, fand ich das Pigment (Fig. 22) an den Seiten und in dem grössten Teile der mittleren Netzhautpartie in dichten Knöpfchen innenständig; sogar im Streifengebiete waren reichlich innenständige Knöpfchen von grosser Feinheit zu sehen. Hinter diesen bildete das Pigment einen schwarzen Saum von fast $^1/_4$ der Stäbchenlänge. Es hat also schon diese kurze Belichtung mit diffusem Lichte genügt, um eine starke vitrale Pigmentverschiebung, auch im Streifengebiete, herbeizuführen.

Bei einem eine Stunde besonnten Tiere fand ich das Pigment überall, auch an den schmalen Stäbchen des Streifengebietes, in dichten Knöpfchen ganz innenständig. Die mittleren Knöpfchen sind feiner und leichter voneinander zu sondern als die seitlichen. Hinter ihnen sieht man wieder feine Pigmentzüge, die in der Gegend der langen feinen Stäbchen in etwa $^3/_4$ von deren Länge sichtbar sind, während an den Seiten nur etwa die innere Hälfte der Stäbchen Pigment führt. (Fig. 23 gibt ein Stück der spontan abgelösten Membrana hyaloidea eines belichteten Octopus mit den daran haftenden Pigmentklümpchen wieder; vgl. S. 420.)

Nach diesen Beobachtungen zieht sich das Pigment bei Octopus Defilippi im Dunkeln nur sehr langsam zurück, und auch bei lang-

dauernder Verdunkelung nur so weit, dass etwa $^{1}/_{4}$ des vitralen Stäbchenabschnittes ganz pigmentfrei wird. Unter dem Einflusse der Belichtung wandert das Pigment rasch und ausgiebig vitralwärts vor.

Sepiola Rondeletti. Auf dem Schnitte erschien die Netzhaut in der Regel in der äussersten Peripherie unten am dicksten; ihre Dicke nahm nach oben hin allmählich etwas ab; von einer dickeren mittleren Partie konnte ich in keinem Falle etwas finden; auch mikroskopisch fehlten der mittleren Zone die feinen und langen Stäbchen. Diese waren vielmehr überall ungefähr gleich lang, und auch die Kerne waren allenthalben in angenähert gleichmässiger Verteilung zu sehen; die Limitanszellen ragten überall ziemlich beträchtlich aus der Pigmentzone hervor.

Bei einem 4 $^{1}/_{2}$ Stunden dunkel gehaltenen Tiere fand sich das Pigment in den oberen Netzhautteilen, bis gegen die Mitte hin, in dichten Knöpfchen innenständig. In einer mittleren Netzhautzone war es ein wenig von der vitralen Oberfläche zurückgezogen und teils in Streifen, teils in keulenartigen Bildungen in der Stäbchenschicht gelegen. In den unteren Netzhautteilen lag es wieder in dichten Knöpfchen an der vitralen Oberfläche, noch mehr peripherwärts war es zum grösseren Teile wieder etwas zurückgezogen.

Bei einem eine Stunde dunkel gehaltenen Tiere füllte das Pigment in feinen Zügen von etwa $^{1}/_{4}$ der Stäbchenlänge ungefähr die mittleren Stäbchenteile, überall ziemlich gleich weit von den Stäbchenenden entfernt bleibend. In der unteren Netzhauthälfte fanden sich spärlich innenständige Knöpfchen, hinter ihnen zum Teile, in etwa $^{1}/_{6}$ der Stäbchenlänge, feine Pigmentzüge.

Bei einem eine Stunde besonnten Tiere war das Pigment überall in feinen Knöpfchen innenständig, die Hyaloidea löste sich überall pigmenthaltig ab. Danach wären die anatomischen Verhältnisse hier anscheinend ähnliche, wie etwa bei Loligo.

Loligo vulgaris und Loligo marmorae. Hier fand ich (ebenso wie bei Todaropsis, s. u.) die Netzhaut auf dem Schnitte an allen Stellen ungefähr gleich dick, die Stäbchen angenähert gleich lang: Bei einer grossen Loligo vulgaris waren sie zum Teile 0,18 mm, bei einer kleinen Loligo marmorae etwa 0,08 mm lang; dementsprechend war die Zahl der Kerne an allen Stellen angenähert gleich gross, jedenfalls fehlte eine mittlere Zone mit relativ sehr grosser Kernzahl. Die Limitanszellen ragten überall weit nach hinten vor. Hier fehlten also die anatomischen Verhältnisse, die bei den

meisten anderen, vorher besprochenen Arten der Bildung des Streifs zugrunde lagen; trotzdem finden sich in mancher Beziehung ähnliche physiologische Verhältnisse der Pigmentwanderung wie dort.

Bei einer eine Stunde im Dunkeln gehaltenen Loligo marmorae war das Pigment vollständig auf die Stäbchenbasis zurückgezogen, die Stäbchen erschienen ganz frei von Pigment. Bei einem Tiere, das erst eine Stunde im Dunkeln, dann eine Stunde an der Sonne gehalten war, fand ich das Pigment im unteren Drittel der Netzhaut in dichten Knöpfchen innenständig, in den beiden oberen Dritteln dagegen nirgends innenständig, vielmehr in feinen Zügen zwischen den Stäbchen in deren skleraler Hälfte. Dementsprechend löste sich die Hyaloidea unten pigmenthaltig, oben pigmentlos von der Netzhaut ab; die Grenze zwischen beiden Netzhautzonen war ziemlich scharf.

Bei einer im Hellen gestorbenen Loligo marmorae fand sich gleichfalls das Pigment in den oberen zwei Dritteln fast ganz skleral, im unteren Drittel dagegen reichte es bis nahe zur inneren Oberfläche der Netzhaut, liess nur eine kleine Strecke der vitralen Stäbchenenden frei und bildete zwischen den Stäbchen selbst kleine Keulen.

Nach einer Stunde Besonnung fand ich bei einer Loligo marmorae das Pigment in der oberen und unteren Netzhauthälfte bis dicht an das vitrale Stäbchenende vorgewandert, die innere Stäbchenhälfte in langen Zügen ausfüllend, zum Teile Knöpfchen bildend. Auch hier war das vitrale Ende der Pigmentzüge zwischen den Stäbchen beträchtlich dicker als der übrige Teil. In den mittleren Netzhautpartien dagegen fand sich das Pigment fast ganz auf den skleralen Stäbchenabschnitt beschränkt. Ähnliches Verhalten fand ich bei einer Loligo vulgaris, die erst eine Stunde dunkel, dann eine Stunde an der Sonne gehalten war.

Rossia macrosoma. Auf einer streifenförmigen mittleren Netzhautzone von ungefähr 1,5 mm Breite sind die Stäbchen länger und feiner (vgl. Fig. 24) als oben und unten davon. (In der Mitte ca. 0,23 mm, wenig oben und unten davon nur 0,16 mm bei einigen von mir gemessenen Exemplaren. Die Zahl der Kerne an den entsprechenden mittleren Stellen ist nahezu doppelt so gross als etwas seitlich davon. Diese seitlichen, kürzeren Stäbchen werden nach der äussersten Peripherie der Netzhaut hin nur noch wenig kürzer.)

Bei einem 120 Stunden dunkel gehaltenen Tiere steht das

Pigment in der unteren Netzhautpartie vitral in dichten Knöpfchen, die durch feine Pigmentlinien mit der skleralen Pigmentlage verbunden erscheinen. Gegen die Netzhautmitte hin werden die vitralen Knöpfchen spärlicher, die feinen Pigmentlinien sind aber hier fast ebenso reichlich wie dort. In der Zone der langen Stäbchen ist das vitrale Stäbchendrittel ganz frei von Pigment, der übrige Teil enthält solches nur in geringen Mengen. Weiter oben kommt das Pigment wieder näher an die vitralen Stäbchenenden heran, ohne sie ganz zu erreichen und ohne Knöpfchen zu bilden.

Bei einem 120 Stunden dunkel gehaltenen, dann zehn Minuten besonnten Tiere ist in der ganzen unteren (grösseren) Netzhauthälfte bis zum Streifengebiete hin das Pigment in dichten Knöpfchen innenständig, in der Nähe des Streifs werden letztere spärlicher. Die Gegend des Streifs selbst scheint an diesem Auge krankhaft verändert zu sein; sie zeigt dicke, schollige Massen mit vielen vitralen Pigmentknöpfchen. Nach oben hin steht das Pigment zunächst wieder vorwiegend skleral, weiter peripherwärts aber findet man es abermals innenständig, zum Teile sogar wiederum in dichten vitralen Knöpfchen.

Bei einem vier Stunden dunkel gehaltenen Tiere fand sich in den mittleren Netzhautpartien Pigment nur etwa im skleralen Sechstel der Stäbchen, während die inneren $^5/_6$ ganz pigmentfrei waren; die peripher sich anschliessenden Netzhautzonen zeigten Pigment in feinen Zügen in der ganzen Länge der Stäbchen; noch weiter peripher, insbesondere unten, zeigte es sich in dichten Knöpfchen auf der vitralen Netzhautoberfläche.

Bei einem $2^1/_2$ Stunden der Sonne ausgesetzt gewesenen Auge löste die Hyaloidea sich überall stark pigmenthaltig ab, nur entsprechend dem Streifen war sie pigmentfrei. Das Netzhautpigment ist überall (Fig. 24), auch im ganzen Streifengebiete, in dichten Knöpfchen innenständig; im Streifen sind diese mit feinen, nach hinten gerichteten Fortsätzen versehen, dahinter ist noch eine schmale Zone dicht stehender Pigmentkörnchen zu sehen. Der Rest der Stäbchen ist bis zur Basis pigmentfrei. Ein ähnliches Verhalten fand ich bei einem Tiere, das $2^1/_2$ Stunden der Sonne, dann noch eine Stunde dem Tageslichte ohne direkte Sonne ausgesetzt war. Die Pigmentknöpfchen erschienen hier im Streifengebiet etwas feiner als bei dem der Sonne ausgesetzt gewesenen Tiere.

Scaeurgus (unicirrus und tetracirrus). Auch bei Scaeurgus sind die Stäbchen in den mittleren Netzhautteilen ein

wenig länger und schmäler als oben und unten in der Peripherie, aber der Unterschied ist bei weitem nicht so gross als z. B. bei Rossia oder Eledone. Die Stäbchenlänge betrug bei einigen von mir gemessenen Exemplaren in der Mitte 0,14 mm, ein wenig seitlich davon 0,10 mm. In den mittleren Netzhautteilen zählte ich auf 1 mm ca. 550 Kerne, wenig seitlich davon etwa 450; etwas weiter peripherwärts wurde deren Zahl wesentlich kleiner (vgl. Fig. 25).

Bei einem 24 Stunden dunkel gehaltenen Tiere war das Pigment überall gleichmässig skleralständig. Es erstreckte sich so wenig von der basalen Zone nach innen, dass fast $^{9}/_{10}$ der ganzen Stäbchenlänge pigmentfrei waren.

Bei einem $3^{1}/_{2}$ Stunden an der Sonne gehaltenen Tiere (das aber seine Pupille ganz geschlossen gehalten hatte) war das Pigment allenthalben (vgl. Fig. 25) in dichten schwarzen Knöpfchen innenständig, auch im Gebiete des Streifs, wo die Knöpfchen viel feiner erschienen als an den Seiten. Hinter den Knöpfchen war auf einer ca. 2 mm breiten mittleren Netzhautzone in einem Abstande von etwa $^{1}/_{6}$ der Stäbchenlänge noch eine zweite schmale Zone mit ziemlich reichlichen feinsten Pigmentmassen sichtbar; an den seitlichen Netzhautpartien fehlten letztere. Der Unterschied im Verhalten der Limitanszellen im Streifengebiete und seitlich davon war hier besonders auffällig (vgl. Abbildung).

Todaropsis. Im anatomischen Verhalten findet sich hier insofern ein wesentlicher Unterschied von den meisten bisher beschriebenen Formen, als — ähnlich wie bei Loligo — keine mittlere Zone mit längeren und schmäleren Stäbchen vorhanden ist. Vielmehr erschienen an allen von mir untersuchten Todaropsisaugen auf vertikalen Netzhautschnitten die Stäbchen überall angenähert gleich lang und breit, vielleicht in der oberen Netzhauthälfte eine Spur länger als in der unteren. Auch die Kerne waren an allen Stellen des Schnittes bis nahe zum Rande der Netzhaut angenähert gleich zahlreich und gleichmässig verteilt. Ich fand sie auffallend viel zahlreicher als z. B. bei Rossia; an verschiedenen Stellen zählte ich über 1100 Kerne auf einer Strecke von 1 mm. Sie bilden in der Regel eine mehrschichtige Zelllage von beträchtlicher Dicke, und zwar sind die äusseren Zellen mehr rund, die inneren mehr länglich, zum Teile spindelförmig, und reichen bis nahe an die Basalmembran heran. Die Limitanszellen ragen überall weit nach hinten aus der Pigmentzone hervor (vgl. Fig. 26).

Bei einem moribunden Tiere, das ich noch zehn Minuten an die Sonne gebracht hatte, stand das Pigment überall fast ganz skleral; es ragte nur eine kurze Strecke zwischen die Stäbchen hinein, so dass etwa $^{9}/_{10}$ der Stäbchenlänge vollständig pigmentfrei waren.

Bei einem zwei Stunden der Sonne ausgesetzten, lebhaften Tiere fand ich das Pigment in der Peripherie der Netzhaut oben und unten in Knöpfchen innenständig, in der ganzen mittleren Netzhautpartie dagegen ungefähr in der Mitte der Stäbchen derart angehäuft, dass der mittlere Teil der Stäbchen braun erschien, während das vitrale und das sklerale Drittel fast ganz frei von Pigment waren; hier fanden sich nur vereinzelt einige Knöpfchen; die Hyaloidea war ganz pigmentfrei abgelöst und mit vielen leistenartigen Erhebungen versehen.

Bei einem drei Stunden der Sonne ausgesetzten Tiere (zeitweise war der Himmel bedeckt gewesen) fand sich (Fig. 26) in der ganzen Ausdehnung der Netzhaut das Pigment überall innenständig; ausserdem war gleichfalls fast in der ganzen Ausdehnung der Netzhaut hinter der Zone der Knöpfchen bis etwa zur Stäbchenmitte eine zweite, an verschiedenen Stellen verschieden dicht erscheinende Pigmentzone, zum Teile aus feinen, stark geschlängelten Zügen bestehend, sichtbar.

Bei einem im Dunklen gestorbenen Tiere zeigte die Netzhaut makroskopisch das in Fig. 15 wiedergegebene Bild. Mikroskopisch wurde das Pigment oben und unten ganz skleralständig gefunden, entsprechend dem braunen Streifen war es in feinen Knöpfchen auf der vitralen Netzhautfläche zu sehen. Ich halte es für wahrscheinlich, dass es sich hier um eine krankhafte Veränderung handelte.

Illex Coindetti. Hier liegen die Verhältnisse jenen bei Todaropsis anscheinend sehr ähnlich. Die Netzhaut erscheint auf dem Schnitte fast überall gleichmässig dick, vielleicht wird sie in der Peripherie nach oben hin ein wenig dicker. Eine streifenförmige Verdickung der mittleren Netzhautpartien, wie bei den früher besprochenen Formen, ist nicht vorhanden. Die Kernzahl erscheint sehr gross.

Bei zwei Exemplaren, die ich moribund erhielt und noch einige Zeit an die Sonne gebracht hatte, fand ich keine Spur von phototroper Pigmentverschiebung: Das Pigment war in dichten Kölbchen an der Basis der Stäbchenreihe angehäuft und hier sehr deutlich vom stabilen Pigmente gesondert. Bei einem lebhaften Exemplar,

das ich 1/2 Stunde an die Sonne gebracht hatte, war das Pigment fast überall in feinen Knöpfchen an die vitrale Oberfläche der Stäbchen gewandert, nur in den mittleren Netzhautteilen nicht so weit wie oben und unten; es durchsetzte hier vorwiegend die vitrale Hälfte der Stäbchenreihe in feinen Zügen, doch fanden sich auch, wenngleich ziemlich spärlich, vitrale Knöpfchen.

Nach den hier mitgeteilten Beobachtungen sind bisher drei verschiedene Stufen in der Ausbildung der Cephalopodennetzhaut bekannt geworden: Zunächst eine allenthalben angenähert gleichmässig dicke Netzhaut mit überall gleichmässig dicht stehenden Stäbchen (z. B. Loligo, Todaropsis). Dann Netzhäute mit einem Streifen deutlichsten Sehens, innerhalb dessen die Stäbchen beträchtlich länger und feiner sind als in der Umgebung (z. B. Rossia, Scaeurgus, Eledone u. a.). Endlich die von Chun bei Tiefseecephalopoden gefundenen Netzhäute mit einer foveaähnlichen Stelle deutlichsten Sehens, innerhalb deren die Stäbchen ausserordentlich lang und schmal gefunden werden.

Hesse war (s. o.) der Meinung, die Stäbchen seien in der Cephalopodennetzhaut überall gleichmässig verteilt. Unter dieser Voraussetzung zählte er die lichtrezipierenden Einheiten in einem bestimmten kleinen Bezirke aus und berechnete danach deren Zahl für die gesamte Netzhaut. „Wenn wir für ein Auge von Sepia vom Durchmesser des Menschenauges die Zahl der lichtrezipierenden Einheiten berechnen, so erhalten wir, die Retina als Halbkugelschale angenommen, die ausserordentliche Zahl von über 70 Millionen Stäbchen, eine Zahl, deren Bedeutung uns erst klar wird, wenn wir bedenken, dass die Zahl der rezipierenden Einheiten für das Menschenauge insgesamt auf etwa 50 Millionen zu schätzen ist."

Nun hat sich aber gezeigt, dass bei einer Reihe von Cephalopodenarten in dem mittleren streifenförmigen Gebiete die einzelnen Elemente um etwa das Doppelte dichter stehen können als in der ganzen übrigen Netzhaut. Man würde also einen viel zu hohen Wert erhalten, wenn die der Auszählung zugrunde gelegte Netzhautpartie eben dem Streifengebiete angehörte, anderenfalls einen zu niedrigen. Dieser Umstand ist auch bei Beurteilung der übrigen Berechnungen über die Zahl der Stäbchen bei den anderen Cephalopodenarten mit streifenförmiger mittlerer Zone entsprechend zu berücksichtigen. Die Angabe über die Zahl der rezipierenden

Einheiten im menschlichen Auge scheint nicht ganz zutreffend zu sein; wenigstens finde ich bei Greeff die Angabe: „Man schätzt die Anzahl der Stäbchen in der menschlichen Retina auf etwa 130 Millionen, die der Zapfen auf 7 Millionen. (W. Krause.)“

Wie gross die Abweichungen von den Tatsachen sind, die durch die vorher erwähnte Berechnungsweise herbeigeführt werden können, möge an einem Beispiele gezeigt werden: Bei einer grossen Eledone zählte ich im Gebiete des Streifs auf einer Strecke von 0,2 mm 57 Endknöpfchen, etwas seitlich davon, ausserhalb des Streifs, nur 38—40. Legen wir die erste Zahl zugrunde, so kommen im Streifengebiete auf einen Quadratmillimeter 81000 Stäbchen, ausserhalb desselben dagegen nur 40000. Bei einer Sepia zählte ich im Streifengebiete ca. 65 Endknöpfchen auf 0,2 mm, ausserhalb nur 39. Nach der ersten Berechnung kämen ca. 105000 Stäbchen auf den Quadratmillimeter (genau die von Hesse berechnete Zahl), ausserhalb des Streifs aber nur 40000.

Unter den mitgeteilten Befunden scheint mir ferner von Interesse, dass bei angenähert gleichmässiger Belichtung bezw. bei Abschluss von Licht das Pigment nicht überall gleichmässig wandert, sondern in dem Gebiete des Streifs bei Belichtung langsamer vorwandert, bei Verdunklung rascher sich zurückzieht als in der übrigen Netzhaut.

Es wäre interessant, der Frage nachzugehen, inwieweit diese Pigmentverhältnisse mit der Lebensweise der Tiere zusammenhängen. Doch ist letztere bisher zu dem fraglichen Zwecke, soweit mir bekannt, noch nicht genügend genau ermittelt.

In Jatta's[1]) Monographie über Cephalopoden finde ich hinsichtlich des Tages- bezw. Nachtlebens nur für Sepia die Angabe, sie scheine eine Vorliebe für nächtliche Lebensweise zu haben, da sie gerne des Nachts auf Nahrung ausgehe.

Hesse macht die Angabe: „Die Cephalopoden mit innerer Pigmentzone sind Nachttiere und am Tage in ihrem Sehen auf den hellen Streifen der Retina beschränkt.“

Wir haben gefunden, dass am hellen Lichte sämtliche untersuchte Cephalopodenarten eine innere Pigmentzone besitzen und dass bei den unter die litoralen Formen gezählten Arten sich sehr grosse Unterschiede finden, derart, dass z. B. bei Sepia schon nach verhältnismässig geringer und kurzer Verdunklung die innere Pigmentzone fehlt, während z. B. bei Eledone selbst nach sehr langem Dunkelaufenthalte in einem grossen Teile der Netzhaut das Pigment noch in dichten Knöpfchen innenständig gefunden wird.

---

1) G. Jatta, I cefalopodi viventi nel golfo di Napoli. Berlin 1896.

Hesse nimmt, wie es scheint, an, dass im Gebiete des sogen. „hellen Streifens“ die Endknöpfchen überhaupt nicht von Pigment überzogen würden; denn er sagt von Sepia, Eledone und Octopus, sie sässen am Tage „untätig in ihren Schlupfwinkeln und würden in der Tat vollständig blind sein, wenn nicht im Bereich des hellen Streifens, der die Retina durchzieht, die Endknöpfchen der Neurofibrillen frei von Pigment blieben.“ Wir sahen aber, dass das Pigment auch im Gebiete des „hellen Streifs“ die Endknöpfchen vollständig überziehen kann, ja dass bei verschiedenen der von mir untersuchten Arten hierzu nicht einmal ungewöhnlich grosse Lichtmengen nötig sind.

Dass bei solcher Innenstellung des Pigmentes die entsprechenden Netzhautpartien vollständig blind sein sollten, lässt sich wohl kaum annehmen; denn es würden dann ja bei verschiedenen Arten (z. B. Eledone u. a.), bei welchen das Pigment in den peripheren Netzhautteilen erst nach vielstündiger Verdunklung sich von den Knöpfchen zurückzieht, diese ganzen Netzhautgebiete nur selten überhaupt in Funktion treten, was bei dem sonst so zweckmässigen Baue des Sehorgans dieser Tiere wenig wahrscheinlich ist. Freilich lässt sich über die Art der Lichtwahrnehmung in jenen Fällen, wo die innere Netzhautoberfläche einen Pigmentüberzug zeigt, vorderhand noch nicht viel sagen, wenn man sich nicht in ungenügend begründeten Hypothesen verlieren will. Die Pigmenthülle, die die perzipierenden Endorgane umgibt, ist wohl sicher nicht so dicht, dass sie alles auf sie auffallende Licht vollständig absorbiert; geringe Lichtmengen werden die Stäbchenenden fast immer erreichen.

Die besondere Art der Pigmentwanderung im Streifengebiete kann nicht etwa mechanisch erklärt werden durch die Annahme, bei den dichter stehenden Stäbchen sei der Widerstand für diese Wanderung grösser; denn dann müsste ja auch das Zurückwandern bei Verdunkelung langsamer vor sich gehen. Auch die Annahme einer geringeren Reizbarkeit der Elemente im Streifengebiete scheint mir nicht hinzureichen, um diese feinen, für ein gutes Funktionieren des Sehapparates so wichtigen Vorgänge in ihren Einzelheiten genügend zu erklären.

Hesse hält es für sehr wohl möglich, dass bei Sepia, Eledone und Octopus die Endorgane im Streifengebiete weniger reizbar und deshalb für das Sehen im Dunkeln weniger tauglich seien, so dass bei nächtlichen Ausflügen der Tiere die Nachbarteile der Retina für

den hellen Streifen eintreten müssten; diese Annahme ist nach unseren Befunden schon deshalb wenig wahrscheinlich, weil wir bei Verdunkelung das Pigment zuerst im Streifengebiete zurückwandern sehen und erst viel später ausserhalb des Streifens.

Auch die Frage, ob und inwieweit etwa die Verhältnisse des Sehpurpurs hier mitspielen, muss weiteren Untersuchungen überlassen bleiben. Jedenfalls ist im Cephalopodenauge der fragliche Streif nicht nachweislich purpurärmer als die übrigen Netzhautgebiete, zum Unterschiede vom menschlichen Auge, wo an der Stelle des deutlichsten Sehens das Vorkommen von Sehpurpur bisher noch nicht hat nachgewiesen werden können.

Figurenerklärung.

(Die Abbildungen sind von Herrn Universitätszeichner W. Freytag hergestellt.)

Die Figuren 1—15 geben das makroskopische Aussehen der hinteren Abschnitte von in Formol fixierten und in Alkohol nachgehärteten Cephalopodenaugen wieder.

Fig. 1. Auge einer Sepia officinalis, die 48 Stunden im Dunkeln gehalten war (siehe S. 411).

Fig. 2. Auge einer Sepia officinalis, die eine Stunde an der Sonne, danach 1/2 Stunde im Dunkeln gehalten war (siehe S. 411).

Fig. 3. Auge einer Sepia Orbignyana, die zwei Stunden dunkel gehalten war (siehe S. 413).

Fig. 4. Auge einer Sepiola Rondeletti, die 4 1/2 Stunden dunkel gehalten war (siehe S. 413).

Fig. 5. Auge einer Eledone moscata, die im Hellen entblutet war (Fixierung in Alkohol) (siehe S. 414).

Fig. 6. Auge einer Eledone moscata, die drei Stunden an der Sonne gehalten war (siehe S. 414).

Fig. 7. Auge eines Octopus macropus, der sechs Stunden an der Sonne gehalten war (siehe S. 415).

Fig. 8. Auge eines Octopus Defilippi, der 18 Stunden dunkel gehalten war (siehe S. 415).

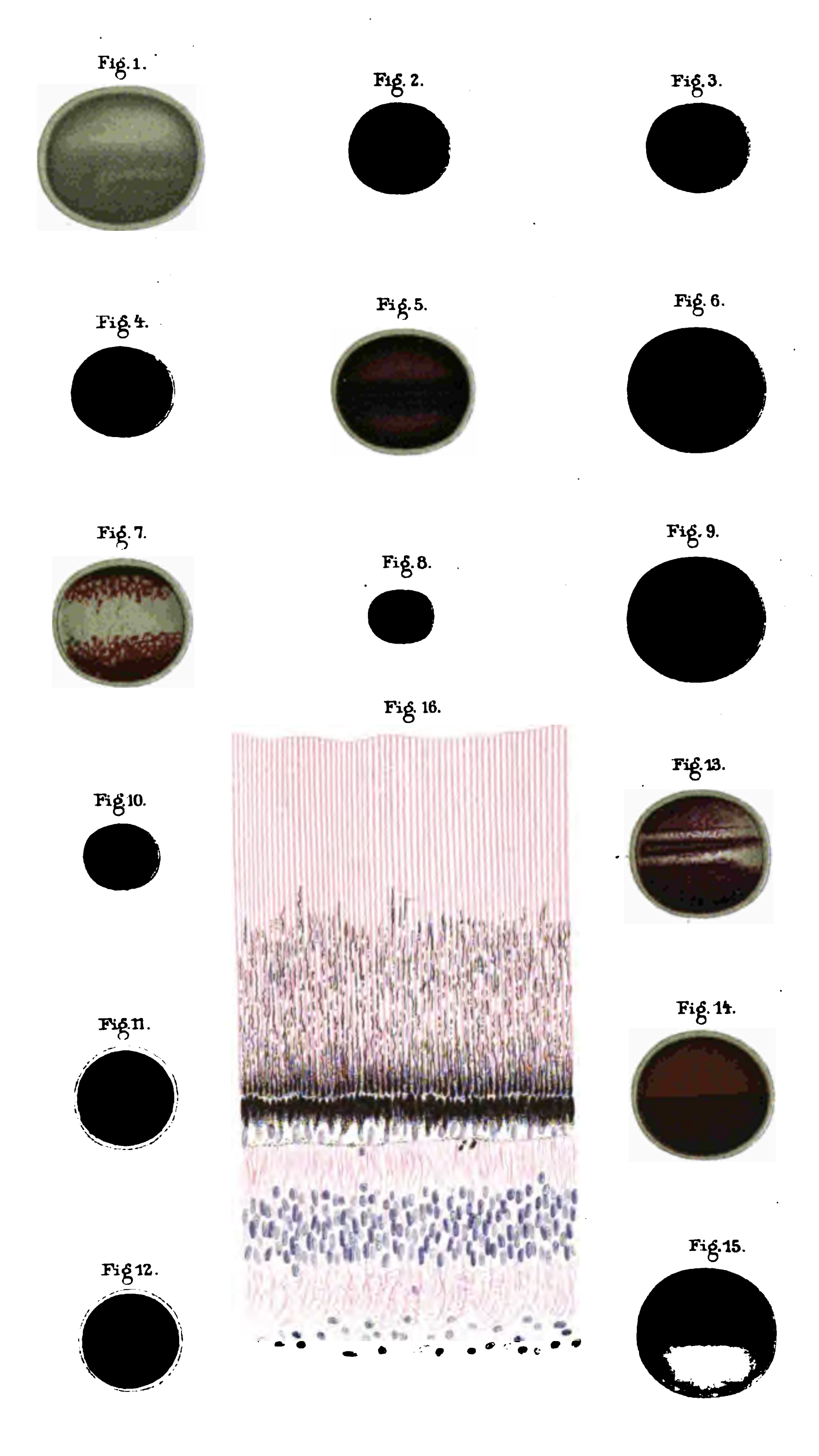
Fig. 9. Auge einer Loligo vulgaris, die eine Stunde dunkel, danach eine Stunde an der Sonne gehalten war (siehe S. 416).

Fig. 10. Auge einer Loligo marmorae, die im Hellen gestorben war (siehe S. 416).

Fig. 11. Auge einer Loligo vulgaris nach mässiger Belichtung (siehe S. 416).

Fig. 12. Auge einer Loligo vulgaris nach stärkerer Belichtung (siehe S. 416).

Fig. 13. Auge einer Rossia macrosoma, die 120 Stunden dunkel, danach zehn Minuten an der Sonne gehalten war (zum Teil pathologisch?) (siehe S. 417).



W. Freytag gez.

Kgl. Univers.-Druckerei von H. Stürtz, Würzburg. Verlag von Martin Hager, Bonn.

Fig. 17.



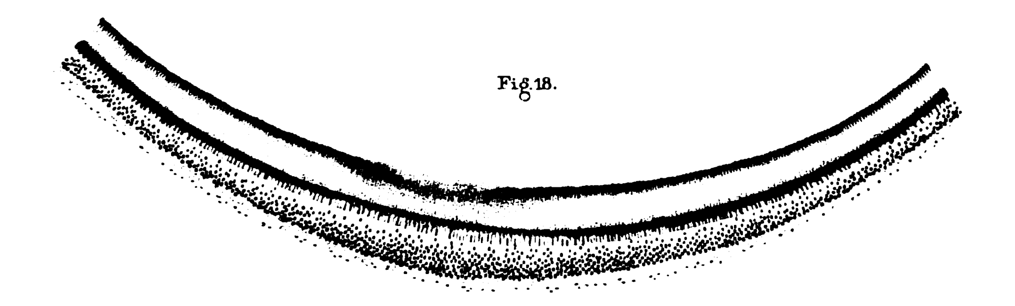


Fig. 18.

Fig. 19.

Fig. 20.



W. Freytag gez.

Kgl. Univers.-Druckerei von H. Stürtz, Würzburg. Verlag von Martin Hage

Fig. 17.

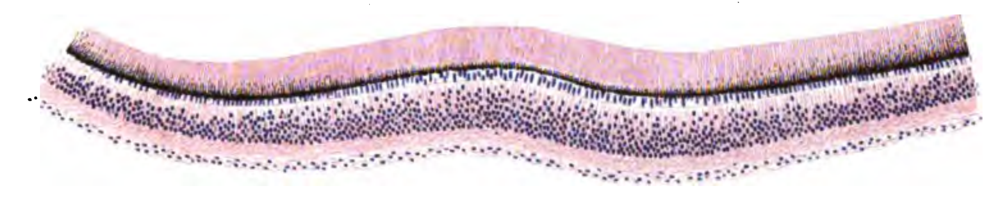


Fig. 18.

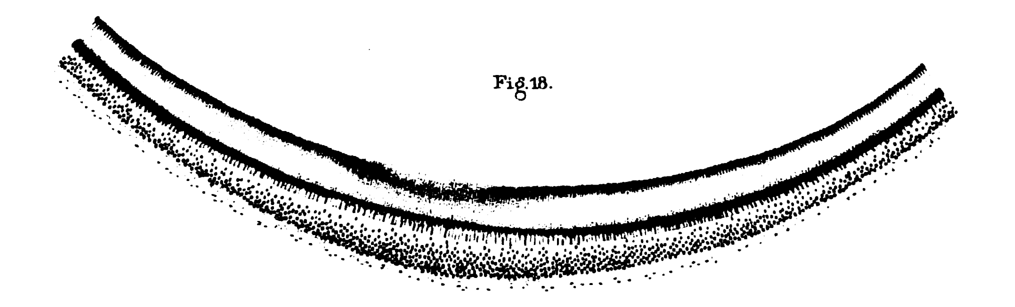


Fig. 19.

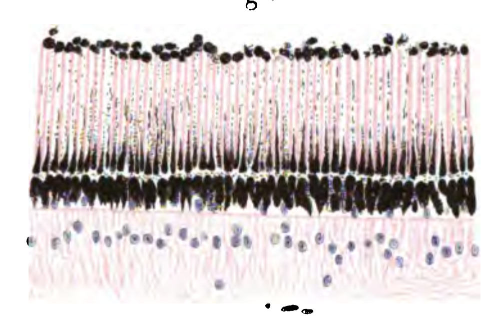
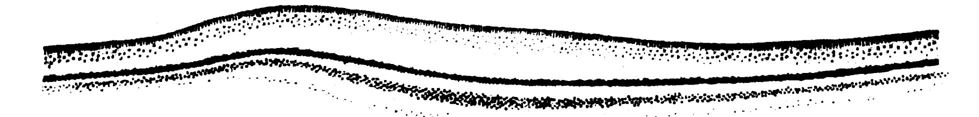
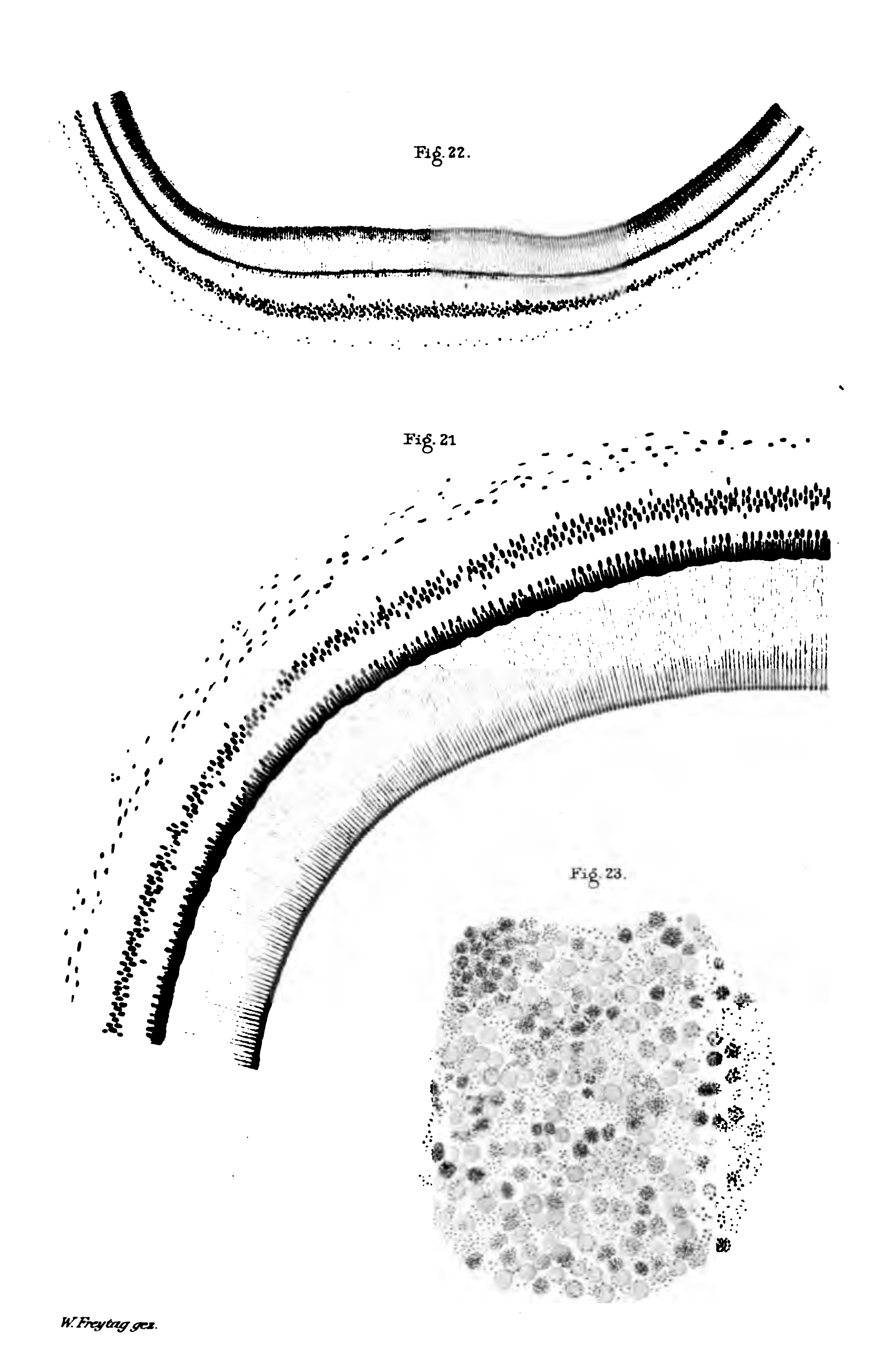


Fig. 20.



W. Freytag gez.

Kgl. Univers.-Druckerei von H. Stürtz, Würzburg. Verlag von Martin Hager, B



W. Freytag gez.

Kgl. Univers.-Druckerei von H. Stürtz, Würzburg. Verlag von Martin Hager, Bonn.

Fig. 14. Auge eines Scaeurgus tetracirrus, der 3½ Stunden im Hellen gehalten war (siehe S. 417).

Fig. 15. Auge eines Todaropsis Veranyi, der nach 24 Stunden Dunkelaufenthalt tot gefunden worden war (zum Teil pathologisch?) (siehe S. 418).

Fig. 16. Schnitt durch die Netzhaut einer Sepia officinalis, die 15 Stunden dunkel gehalten war. Streifengebiet (siehe S. 425).

Fig. 17. Schnitt durch die ganze Netzhaut einer Sepia elegans, die 2½ Stunden dunkel gehalten war (siehe S. 426).

Fig. 18. Schnitt durch die ganze Netzhaut einer Sepia elegans, die 1½ Stunden diffusem Lichte ausgesetzt gewesen war (siehe S. 427).

Fig. 19. Schnitt durch die seitlichen Netzhautteile einer Eledone moscata, die 20 Stunden dunkel gehalten war (siehe S. 428).

Fig. 20. Schnitt durch die Netzhaut einer Eledone moscata, die im Hellen entblutet war (Fixierung direkt in Alkohol) (siehe S. 428).

Fig. 21. Schnitt durch Streifengebiet und Nachbarschaft einer im Hellen gehaltenen Eledone (siehe S. 428).

Fig. 22. Schnitt durch die ganze Netzhaut eines Octopus Defilippi, der erst 48 Stunden dunkel, dann eine Viertelstunde in diffusem Lichte gehalten war (siehe S. 429).

Fig. 23. Flächenpräparat der spontan abgelösten Membrana hyaloidea eines im Hellen gehaltenen Octopus (siehe S. 429).

Fig. 24. Schnitt durch die mittleren Netzhautteile (Streifen) einer Rossia macrosoma, die zwei Stunden der Sonne ausgesetzt geweseu war (siehe S. 431).

Fig. 25. Schnitt durch die mittleren (rechts) und seitlichen (links) Netzhautteile eines Scaeurgus, der 3½ Stunden dem Sonnenlichte ausgesetzt gewesen war (siehe S. 433).

Fig. 26. Schnitt durch die Netzhaut eines Todaropsis Veranyi, der drei Stunden der Sonne ausgesetzt gewesen war (siehe S. 433).

(Aus dem tierphysiol. Institut der landw. Hochschule zu Berlin. Prof. Zuntz.)

Über den Ersatz von Eiweiss durch Leim im Stoffwechsel.

Von

Dr. med. **M. Kauffmann.**

In seiner akademischen Antrittsrede Zürich 1868 führte L. Hermann aus, dass sich sämtliche chemische Verdauungsprozesse als Spaltungen unter Wasseraufnahme auffassen lassen, dergestalt, dass die ganze chemische Verdauung sich ersetzen lassen würde durch Kochen der Nahrung mit verdünnter Schwefelsäure.

Nach Otto Cohnheim[1]) geht die Verdauung so vor sich, dass „das von den höheren Tieren verzehrte Nahrungseiweiss im Magendarmkanal durch die proteolytischen Fermente Pepsin, Trypsin und Erepsin bis zu den primären Spaltungsprodukten, den Aminosäuren usw. gespalten und in dieser Form resorbiert wird“.

Auf die Anregung Hermann's unternahm es Escher[2]), das Eiweiss in der Nahrung durch Leim und Tyrosin zu ersetzen. Er fütterte Schweine und Hunde mit Leim, dann mit Leim und Tyrosin und beobachtete, dass, während bei Leimnahrung allein das Körpergewicht abnahm, dieses bei Zugabe von Tyrosin gleichblieb. Er kombinierte Leim mit Tyrosin, weil diese aromatische Aminosäure weder bei hydrolytischer Spaltung noch bei Fäulnis im Leim nachgewiesen wurde.

K. B. Lehmann[3]) fütterte Ratten mit Leim und Tyrosin; alle Tiere gingen spätestens nach 70 Tagen zugrunde. Er schloss daraus, dass wenigstens Ratten die Eiweisssynthese aus Leim und Tyrosin nicht auszuführen vermögen. Vergleicht man damit die Versuche

---

1) Chemie der Eiweisskörper S. 55.

2) Über den Ersatz des Eiweisses durch Leim und Tyrosin. Vierteljahrsschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich 1876 p. 36.

3) Sitzungsber. der Münchener morph.-physiol. Gesellsch. 10. März 1885.

von Lunin[1]), dem es nicht gelang, mit Kasein, Zucker, Fett und Salzen Tiere dauernd am Leben zu erhalten, also mit Stoffen, die doch nach unserer bisherigen Annahme genügen sollten zur vollwertigen Ernährung, so scheint Lehmann's Schlussfolgerung zu weitgehend. Otto Loewi[2]) erklärt die Lunin'schen Versuche so, „dass ausser den Stickstoffträgern möglichst alle für den Aufbau eventuell in Betracht kommenden Elemente gereicht werden müssen. Was wir hierzu zu rechnen haben, ist unbekannt. In unseren gewöhnlichen Nahrungsmitteln, müssen wir annehmen, sind ausser Eiweiss, Fett, Kohlehydraten und Salzen, wenn auch nur in minimen Mengen, Stoffe enthalten, die für den normalen Lebenslauf unersetzlich sind. Man denke nur an die bereits bekannte Bedeutung des Jods oder Eisens. Solange wir diese ‚Minimum'stoffe nicht kennen, müssen wir bei allen Versuchen über künstliche Ernährung mit der Möglichkeit eines unkontrollierbaren Fehlers rechnen." Wenn also Lunin nicht einmal mit Eiweiss Tiere dauernd am Leben erhalten konnte, so ist erst recht nicht abzusehen, weshalb dies mit Leim und Tyrosin hätte glücken sollen. Es ist also eine Eiweisssynthese im Tierkörper mit letzteren Stoffen durch Lehmann's Versuche nicht auszuschliessen.

Die Rolle des Eiweisses im Tierkörper ist eine doppelte; es dient als Energiequelle wie die N-freien Stoffe und als Ersatz des zerfallenen Gewebes. Ein Ersatz von Eiweiss durch Leim in der ersteren Funktion ist kaum zu bezweifeln. Nach J. Munk's Berechnung[3]) der Voit'schen Versuche ersparen im Mittel 100 g Leim 150 g Fleisch = 31 g Eiweiss und 100 g Leim 200 g Kohlehydrate. Dagegen werden durch 100 g Leim nur etwa 25 g Fett erspart.

Joseph Kirchmann[4]) hat in seinen Versuchen gefunden, dass bei einer Leimeinfuhr, die ungefähr 12 % des Energiebedarfs deckt, der Eiweisszerfall von 100 auf 75, also um 25 %, fiel. „Mit grösseren Leimgaben lassen sich dann nur mehr ganz geringe Veränderungen erzielen. Die höchste Verminderung des Eiweisszerfalls betrug 35 %, obwohl die dabei gegebene Leimmenge 62 % des Energiebedarfs zu decken imstande war. Sicher ist, dass der Maximal-

1) Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 5 S. 31.
2) Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie Bd. 48 S. 396.
3) Real-Enzyklopädie der ges. Heilkunde. Leimstoffe.
4) Zeitschrift für Biologie Bd. 40 S. 54.

wert der Leimwirkung oder vielmehr der geringste Eiweisszerfall nicht weit unter die Grösse 64,9 herabsinken kann." In allen seinen Versuchen wird durch die Leimzufuhr der Eiweisszerfall zwar vermindert, aber durchaus nicht völlig aufgehoben.

J. Munk[1]) hat seine Versuche mit Leim so eingerichtet, dass die Stickstoffeinnahme in Eiweiss- und Leimperiode gleichblieb. Als er $^5/_6$ des sehr reichlich gegebenen Eiweisses durch Leim mit gleichem Stickstoffgehalt ersetzte, wurde die positive Stickstoffbilanz nur um etwa 0,3 g ungünstiger.

In neuerer Zeit hat Karl Gregor[2]) die Bedeutung des Leims als Gewebe bildend in der Säuglingsnahrung hervorgehoben.

Auf Anregung von Professor Zuntz unternahm es Verfasser, durch Stoffwechselversuche bei Hunden nachzuprüfen, 1. wieviel Eiweiss durch Leim bei Stickstoffgleichgewicht ersetzt werden könne, und 2. durch Zusatz von nicht in Leim enthaltenen Spaltungsprodukten des Eiweisses zum Leim eine eventuelle Eiweisssynthese im Tierkörper zu versuchen.

Nach der Annahme von Zuntz muss der Leim, soweit es sich um den Ersatz des leimgebenden Gewebes im Körper handelt, nicht nur dem Eiweiss gleichwertig, sondern ihm sogar überlegen sein, wenn man bedenkt, dass, ehe der Aufbau des leimgebenden Gewebes durch das Eiweiss zustande kommt, von diesem letzteren einige Molekülgruppen abgespalten, vielleicht auch andere angelagert werden müssen. Wie gross diese Menge Leim im Verhältnis zum Gesamtstickstoff des Körpers sei, kann man a priori nicht absehen. Wir kennen zwar annähernd das Mengenverhältnis des leimgebenden Gewebes in den Knochen, Sehnen usw. zum eigentlichen Eiweiss des Körpers, aber wir kennen nicht die Intensität des Zerfalls in diesem Gewebe. Wenn wir im Versuch die Grenze ermitteln können, bis zu der Leim vollwertig das Eiweiss als Nahrungsmittel vertreten kann, dürften die so gewonnenen Zahlen wohl einen Anhaltspunkt für den Umfang geben, in welchem das leimgebende Gewebe zerfällt und durch Nahrungsmaterialien ersetzt werden muss. — Aufgabe der Untersuchung war also, zu ermitteln, wie weit das Eiweiss als Gewebsbildner durch Leim zu ersetzen ist. Zu diesem Behufe musste schon in der Eiweissperiode die ein-

1) Pflüger's Archiv Bd. 58 S. 309. Virchow's Archiv Bd. 101 p. 110.
2) Zentralblatt für innere Medizin Bd. 22 S. 65. 1901.

geführte Eiweissmenge so gering, die N-freie Nahrung so reichlich bemessen werden, dass das Eiweiss als Brennstoff möglichst ausgeschaltet war; von diesem zur Erhaltung des N-Bestandes im Körper unentbehrlichen Eiweiss sollte dann ein Teil durch Leim ersetzt werden.

Durch die Versuche von Landergren[1]) ist festgestellt worden, dass, je geringer die N-Einfuhr bei reichlichem Brennwert der Nahrung ist, desto geringer auch die N-Ausgabe. Bei Ernährung mit nahezu stickstofffreier Kost konnte Landergren den N-Verlust auf ein Minimum herabdrücken. Diese Resultate sollten bei den Tierversuchen berücksichtigt werden.

I.

Abweichend von den früheren Versuchsanordnungen wurde das Fleisch von der Nahrung ausgeschlossen, da es ja wechselnde Mengen von leimgebendem Gewebe enthält, also keinen strengen Vergleich von leimhaltiger und leimfreier Nahrung gestattet.

Für die Versuche standen zwei gesunde Hündinnen zur Verfügung; die grössere war etwa 19 kg schwer, die kleinere ca. 9 kg, so dass man der grösseren etwa doppelt so viel Nahrung geben konnte als der kleineren. Weibliche Tiere wurden bevorzugt, weil sie leichter zu katheterisieren waren. Die Hündinnen waren gesund; der Urin war frei von Eiweiss und Zucker, sauer reagierend.

Während des Versuchs wurden die Tiere je in einem (der im Laboratorium gebräuchlichen geräumigen) Käfige gehalten, dessen Deckel nur von einzelnen Eisenstäben gebildet wurde und hinreichend Licht und Luft zuliess. Der Boden bestand ebenfalls aus parallelen Eisenstäben, die nur 1 cm voneinander entfernt waren, so dass der etwa entleerte Urin in eine darunter befindliche Schublade lief, während der Kot auf den Eisenstäben liegen blieb. Diese Schublade war mit Zinkblech ausgeschlagen; an ihrer tiefsten Stelle lief ein Rohr nach aussen, unter welches ein Uringlas gestellt wurde.

Die Käfige wurden von mir und einem alten, erfahrenen Diener oftmals während des Tages inspiziert, etwaiger Kot gesammelt; nach etwaiger Urinentleerung wurde der Käfig mit Wasser nachgespült. Jeden Tag um dieselbe Zeit wurde katheterisiert, die Blase mit Borsäure ausgespült; danach wurden die Tiere einige Minuten ins

1) Skandinav. Archiv Bd. 14 S. 112.

Freie geführt, wobei meist Defäkation stattfand; eventuell wurde dieselbe durch Einführung eines dicken, angefeuchteten Glasstabes in den After herbeigeführt. Beide Tiere gewöhnten sich schon nach einigen Tagen daran, Urin und Kot 24 Stunden zu halten. Die Nahrung wurde zu einem Brei zusammengekocht und nach dem Erkalten vorgesetzt.

Von sämtlichen Nahrungsmitteln wurde der N-Gehalt bestimmt. Die Stickstoffbestimmung geschah nach Kjeldahl. Es wurde mit Schwefelsäure unter Zugabe eines kleinen Tropfens Quecksilbers mindestens drei Stunden aufgeschlossen. Den Berechnungen der Kalorien wurden die aus den Tabellen von Landolt und Börnstein entnommenen Stohmann'schen Daten zugrunde gelegt; die Abgrenzung des Kotes geschah durch feingepulverte Kieselsäure; der Kot wurde von jeder Periode gesammelt, getrocknet und fein gemahlen.

Als Ersatz von Fleisch wurde Kasein in Form des Plasmons (Kasein-Na) gewählt, von dem Caspari[1]) durch Versuche nachgewiesen hat, dass es besser resorbiert wird als Fleisch. Das Plasmon ist geruchlos, fast geschmacklos, leicht löslich. Sterilisierte Milch lieferte die Meierei von Bolle; die einzelnen Flaschen entstammten demselben Mischgefäss. Die Gelatine wurde von Schering bezogen. Sie verlor im Trockenschrank 15 % Wasser, war in Essigsäure leicht löslich und vollkommen eiweissfrei. Die essigsaure Lösung wurde weder durch Zusatz von Ferrocyankalium noch durch Zusatz von Salpetersäure getrübt; bei Kochen mit Millon'schem Reagens entstand keine Rotfärbung.

Es wurden ferner noch Schweinefett und beim ersten Versuch als weiteres stickstoffhaltiges Nahrungsmittel gemahlener Reis gegeben. Da die Nahrung sonst genügend Salze enthielt, so wurde nur wegen der Eisenarmut der Milch etwas Ferrum lacticum zugesetzt, und zwar beim grossen Hund 0,1 g, beim kleinen 0,05 g.

Für den grossen Hund mit einem Anfangsgewicht von 19430 g wurden pro Kilogramm 62 Kal. und 0,31 g N angenommen. Er erhielt demnach:

600 ccm	Milch	mit	0,527 % N;	pro	Kubikzentimeter	0,648 Kal.,
100 g	Reismehl	„	1,35 % N;	„	Gramm	4,1 „
38 g	Fett			„	„	9,5 „
12 g	Plasmon	„	12,72 % N;	„	„	4,1 „

1) Fortschritte der Medizin 1899 Nr. 19.

also:

in Milch	3,16 g N;	388 Kal.,
„ Reismehl . . .	1,35 „ N;	410 „
„ Plasmon . . .	1,52 „ N;	49 „
„ Fett . . .		361 „
Im Ganzen . . .	6,03 g N; und ca.	1208 Kal.

Da nach drei Tagen das Körpergewicht um 70 g gefallen war, so wurde die Plasmongabe von 12 auf 20 g erhöht, so dass dann im ganzen 7,05 g N und 1241 Kal., pro Kilogramm 64 Kal. gegeben wurden.

Von diesen 7,05 g N sollte nun der fünfte Teil, 1,41 g N, ersetzt werden durch Gelatine-N. Da die Gelatine 15,13 % N enthielt, so entsprachen 9,33 g Gelatine 1,41 g N oder 11,2 g Plasmon. Für Gelatine wurden pro Gramm 4,4 Kal. angenommen, so dass die Kalorieneinfuhr als gleich gelten kann.

Tabelle I. Grosser Hund.

Ersatz von 1/5 Eiweiss-N durch Leim-N.

Datum	Gewicht g	N-Einnahme	N-Ausgabe Urin	Kot-N	Gesamt-N-Ausgabe	Bilanz
11. Nov.	19 430	6,03	3,84	0,39	4,23	+ 1,80
12. „	19 400	6,03	4,73	0,39	5,12	+ 0,91
13. „	19 360 Kot	6,03	6,34	0,39	6,73	— 0,70
		Vorperiode				
14. Nov.	19 270	7,05	5,47	0,39	5,86	+ 1,19
15. „	19 260 Kot	7,05	5,93	0,39	6,32	+ 0,73
16. „	19 210	7,05	6,14	0,39	6,53	+ 0,52
17. „	19 190 Kot	7,05	5,76	0,39	6,15	+ 0,90
18. „	19 160	7,05	6,08	0,39	6,47	+ 0,58
			Mittel.		**6,26**	**+ 0,78**
		Leimperiode				
19. Nov.	19 160 Kot	7,05	5,98	0,39	6,37	+ 0,68
20. „	19 230	7,05	5,80	0,39	6,19	+ 0,86
21. „	19 240 Kot	7,05	5,98	0,39	6,37	+ 0,68
22. „	19 260	7,05	5,71	0,39	6,10	+ 0,95
23. „	19 270 Kot	7,05	5,66	0,39	6,05	+ 1,00
24. „	19 220	7,05	5,29	0,39	5,68	+ 1,37
			Mittel.		**6,13**	**+ 0,92**
		Nachperiode				
25. Nov.	19 180 Kot	7,05	5,83	0,37	6,20	+ 0,85
26. „	19 220	7,05	5,86	0,37	6,23	+ 0,82
27. „	19 180 Kot	7,05	5,95	0,37	6,32	+ 0,73
28. „	19 220	7,05	5,68	0,37	6,05	+ 1,00
29. „	19 240 Kot	7,05	5,60	0,37	5,97	+ 1,08
			Mittel.		**6,13**	**+ 0,89**

Die Tage vom 11. bis 13. November wurden nicht mitgerechnet; die Bilanz ist fast in allen drei Perioden gleich, ein Fünftel Eiweiss-N wurde glatt durch Leim-N ersetzt. Der Überschuss an Stickstoff in allen drei Perioden beweist, dass die N-Zahl, pro Kilogramm 0,37 g, zu hoch angenommen wurde. Die Leimperiode zeigt sogar eine bessere Bilanz als die beiden anderen, was der Ansicht von Zuntz entsprechen würde. J. Munk[1]) hat sogar 5/6 des Eiweiss-N durch Leim-N ersetzt, aber hier war die absolute Menge des Eiweisses sehr gross, und die Hauptmenge desselben diente einfach als Energiequelle.

Für den kleinen Hund mit einem Anfangsgewicht von 9350 g wurde in Anbetracht der verhältnismässig grösseren Körperoberfläche die Hälfte der Nahrung des grossen Hundes ausgerechnet, also:

300 ccm	Milch . . .	1,581 g N;	194 Kal.
50 g	Reis . . .	0,67 g N;	205 „
6 g	Plasmon . .	0,763 g N;	24 „
19 g	Fett . . .		180 „
Im ganzen	. . . .	3,015 g N;	603 Kal.
oder pro Kilogramm	.	0,32 g N;	64,5 Kal.

Wegen stärkerer Gewichtsabnahme wurden vom vierten Tage an 10 g Plasmon und 25 g Fett gegeben, also im ganzen 3,52 g N und pro Kilogramm 72 Kal.

Davon sollte der dritte Teil des Stickstoffs oder 1,17 g N durch Gelatine-N ersetzt werden. Es wurden also 7,73 g Gelatine statt 9,2 g Plasmon gegeben, wodurch die Zahl der eingeführten Kalorien nicht verändert wurde. Für die Berechnung wurden wieder die drei ersten Tage ausgeschaltet. Da der Hund am fünften Tage nur widerwillig frass, wurde statt des sechsten Gelatinetages gleich die Nachperiode angeschlossen.

Tabelle I. Kleiner Hund.

Ersatz von 1/3 Eiweiss-N durch Leim-N.

Datum	Gewicht g	N-Einnahme	N-Ausgabe Urin	Kot-N	Gesamt-N-Ausgabe	Bilanz
11. Nov.	9350 Kot	3,015	2,31	0,53	2,84	+ 0,17
12. „	9330 Kot	3,015	2,39	0,53	2,92	+ 0,09
13. „	9270 Kot	3,015	2,59	0,53	3,12	— 0,01

1) Pflüger's Archiv Bd. 58 S. 309.

Datum	Gewicht g	N-Einnahme	N-Ausgabe Urin	Kot-N	Gesamt-N-Ausgabe	Bilanz
			Vorperiode:			
14. Nov.	9220 Kot	3,52	2,84	0,53	3,37	+ 0,15
15. „	9200 „	3,52	2,81	0,53	3,34	+ 0,18
16. „	9170 „	3,52	2,92	0,53	3,45	+ 0,07
17. „	9130 „	3,52	3,00	0,53	3,53	— 0,01
18. „	9100 „	3,52	3,09	0,53	3,62	— 0,1
			Mittel . . .		**3,46**	**+ 0,06**
			Leimperiode:			
19. Nov.	9050 Kot	3,52	4,35	0,62	4,97	— 1,45
20. „	8950 „	3,52	3,60	0,62	4,22	— 0,70
21. „	8980 „	3,52	3,03	0,62	3,65	— 0,13
22. „	8850 „	3,52	4,09	0,62	4,71	— 1,19
23. „	8880 „	3,52	3,77	0,62	4,39	— 0,87
			Mittel . . .		**4,39**	**— 0,87**
			Nachperiode:			
24. Nov.	8880 Kot	3,52	2,77	0,58	3,35	+ 0,17
25. „	8780 „	3,52	2,97	0,58	3,55	— 0,03
26. „	8680 „	3,52	2,52	0,58	3,10	+ 0,42
27. „	8690 „	3,52	2,64	0,58	3,22	+ 0,30
28. „	8670 „	3,52	2,28	0,58	2,86	+ 0,66
29. „	8620 „	3,52	2,43	0,58	3,01	+ 0,51
			Mittel . . .		**3,36**	**+ 0,37**

Die Bilanz zeigt eine beträchtliche Vermehrung der Stickstoffausgabe in der Hauptperiode, ferner eine Vermehrung des Kot-N in der zweiten und dritten Periode. Das Eiweiss wurde also durch den Leim nicht ersetzt; vielmehr stieg in der Leimperiode der N-Zerfall beinahe um den Wert des zugeführten Leimes, denn der N-Ansatz betrug:

im Mittel der Vor- und Nachperiode + 0,21 g,
in der Leimperiode — 0,87 g,

also eine Schädigung der Stickstoffbilanz um 1,08 g bei einer Gesamtmenge von 1,17 g Leim-N.

Die Tiere wurden nun wieder mit Fleischkost gefüttert; am 4. Dezember begann der nächste Versuch mit einem Hungertag, um das Stickstoffgleichgewicht rascher herbeizuführen und die Tiere fresslustiger zu machen. Es bekam der grosse Hund am 4. Dezember 300 ccm Milch und 50 g Stärke, der kleine Hund 150 ccm Milch und 25 g Stärke.

Am 5. Dezember wurde der zweite Versuch begonnen. Der grosse Hund bekam:

300 ccm Milch mit	0,538 % N;	pro	Kubikzentimeter	0,648	Kal.
30 g Plasmon mit	12,72 % N;	pro	Gramm	4,1	„
120 g Stärke mit	0,42 % N;	pro	„	4,1	„
50 g Fett		pro	„	9,5	„
0,1 g Ferrum lacticum					

also:

in Milch	= 1,616 g N;	194	Kal.
„ Plasmon	= 3,816 g N;	123	„
„ Stärke	= 0,05 g N;	492	„
„ Fett	=	475	„
Im ganzen	= 5,48 g N;	1284	Kal.
oder pro Kilogramm	= 0,3 g N;	69	„

Es wurde also die N-Einfuhr vermindert und in Anbetracht der Körpergewichtsabnahme im ersten Versuch die Kalorieneinfuhr erhöht. Von den 5,48 g N sollte wieder ein Fünftel, also 1,9 g durch Gelatine-N ersetzt werden; somit musste statt 8,7 g Plasmon 7,24 g Gelatine gegeben werden, wobei die Kalorienzahl dieselbe blieb.

Tabelle II. Grosser Hund.

Ersatz von 1/5 Eiweiss-N durch Leim-N.

Datum	Gewicht g	N-Einnahme	N-Ausgabe Urin	Kot-N	Gesamt-N-Ausgabe	Bilanz
4. Dez.	18 500 Kot	1,64	2,88	?	—	—(1,24 + x)
5. „	18 400	5,48	3,99	0,5	4,49	+ 0,99
6. „	18 300 Kot	5,48	3,13	0,5	3,63	+ 1,85
			Vorperiode.			
7. Dez.	18 400	5,48	4,40	0,5	4,90	+ 0,58
8. „	18 370 Kot	5,48	4,37	0,5	4,87	+ 0,61
9. „	18 350 „	5,48	4,23	0,5	4,73	+ 0,75
10. „	18 450 „	5,48	4,53	0,5	5,03	+ 0,45
			Mittel.		4,88	+ 0,60
			Leimperiode.			
11. Dez.	18 660	5,48	5,19	0,45	5,93	— 0,45
12. „	18 660 Kot	5,48	3,28	0,45	3,73	+ 1,75
13. „	18 550 „	5,48	4,98	0,45	5,43	+ 0,05
14. „	18 580 „	5,48	4,13	0,45	4,58	+ 0,90
15. „	18 490 „	5,48	4,71	0,45	5,16	+ 0,32
16. „	18 450	5,48	4,40	0,45	4,85	+ 0,63
17. „	18 440 Kot	5,48	4,53	0,45	4,98	+ 0,50
18. „	18 450	5,48	4,59	0,45	5,04	+ 0,44
			Mittel.		4,96	+ 0,52

Datum	Gewicht g	N-Einnahme	N-Ausgabe Urin	Kot-N	Gesamt-N-Ausgabe	Bilanz
			Nachperiode.			
19. Dez.	18 390 Kot	5,48	5,29	0,50	5,79	— 0,31
20. „	18 410 „	5,48	4,69	0,50	5,19	+ 0,29
21. „	18 300 „	5,48	4,37	0,50	4,87	+ 0,61
22. „	18 200 „	5,48	4,41	0,50	4,91	+ 0,57
23. „	18 150 „		Mittel.		**5,19**	**+ 0,29**

Der erste Tag konnte nicht mitgerechnet werden, weil er noch unter der Wirkung des vorhergehenden Futters steht; auch am 6. Dezember hatte sich der Körper noch nicht auf die N-Einfuhr eingestellt; die Bilanz wurde erst vom 7. Dezember an begonnen. Sie zeigt ein Fortschreiten der N-Ausgabe zu ungunsten der dritten Periode; auffallend ist die geringere N-Zahl für Kot in der zweiten Periode.

Nimmt man wieder das Mittel aus der ersten und dritten Periode, so beträgt die N-Bilanz

in der Eiweissperiode. . . . + 0,45 g N,
in der Leimperiode . . . . + 0,52 g N,

d. h. wieder ein geringer, aber noch innerhalb der Fehlergrenzen liegender Mehransatz in der Leimperiode.

Der kleine Hund bekam vom 5. Dezember ab

300 ccm Milch	1,616 g N;	194 Kal.
10 g Plasmon	1,272 g N;	41 Kal.
60 g Stärke	0,02 g N;	246 Kal.
30 g Fett		285 Kal.
0,05 g Ferrum lacticum		
Im ganzen	2,91 g N;	766 Kal.

Auf das Gewicht vom 5. Dezember = 8110 g berechnet, sind das pro Kilogramm 94 Kal. und fast 0,36 g N. Beide Zahlen wurden so hoch postuliert, weil im ersten Versuch die Gewichtsabnahme eine ganz erhebliche gewesen war.

Von den 2,91 g N sollte der vierte Teil 0,763 g N durch Gelatine-N ersetzt werden, also statt 6 g Plasmon 5,04 g Gelatine. Die Kalorienzahl blieb wieder gleich. In der zweiten Periode wurde der Hund, um eine lange Reihe zu erhalten, so lange mit Leim gefüttert, als er die Nahrung willig nahm: neun Tage.

Tabelle II. Kleiner Hund.

Ersatz von 1/4 Eiweiss-N durch Leim-N.

Datum	Gewicht g	N-Einnahme	N-Ausgabe Urin	Kot-N	Gesamt-N-Ausgabe	Bilanz
4. Dez.	8 450 Kot	0,82	1,79	?		—(0,97+x)
5. „	8 110 „	2,91	1,50	0,43	1,93	+ 0,98
		Vorperiode				
6. Dez.	8 130 Kot	2,91	2,34	0,43	2,77	+ 0,14
7. „	8 170 „	2,91	2,34	0,43	2,77	+ 0,14
8. „	8 130 „	2,91	2,29	0,43	2,72	+ 0,19
9. „	8 150 „	2,91	2,46	0,43	2,89	+ 0,02
			Mittel		2,79	+ 0,12
		Leimperiode				
10. Dez.	8 110 Kot	2,91	2,40	0,38	2,78	+ 0,13
11. „	8 120 „	2,91	2,82	0,38	3,20	— 0,29
12. „	8 130 „	2,91	2,61	0,38	2,99	— 0,08
13. „	8 130 „	2,91	2,64	0,38	3,02	— 0,11
14. „	8 115 „	2,91	2,49	0,38	2,87	+ 0,04
15. „	8 120 „	2,91	2,34	0,38	2,72	+ 0,19
16. „	8 110 „	2,91	2,16	0,38	2,54	+ 0,37
17. „	8 120 „	2,91	2,76	0,38	3,14	— 0,23
18. „	8 070 „	2,91	2,55	0,38	2,93	— 0,02
			Mittel.		2,91	± 0
		Nachperiode				
19. Dez.	8 090 Kot	2,91	2,04	0,40	2,44	+ 0,47
20. „	8 120 „	2,91	1,76	0,40	2,16	+ 0,75
21. „	8 150 „	2,91	2,01	0,40	2,41	+ 0,50
22. „	8 160 „	2,91	2,34	0,40	2,74	+ 0,17
23. „	8 120 „					
			Mittel.		2,44	+ 0,47

Die Bilanz ergibt eine Vermehrung der N-Ausgabe in der zweiten Periode; im Mittel entspricht sie zwar der N-Einnahme, aber im Vergleich zur Eiweissperiode ist sie erhöht.

Auch hier ist die geringere N-Ausgabe durch den Kot in der Gelatineperiode beachtenswert, was für die leichtere Resorbierbarkeit des Leims, die Senator[1]) und Uffelmann[2]) schon betont haben, spricht.

Die vier Versuche beweisen unter möglichstem Ausschluss von Fehlerquellen

1. dass in der Nahrung von Hunden, welche nur so viel Eiweiss erhalten, als bei genügender Auf-

1) Der fieberhafte Prozess S. 174. 1873.

2) Die Diät in akut-fieberhaften Krankheiten S. 81. 1877.

nahme von Brennmaterial zur Erhaltung des Körperbestands nötig ist, einem Fünftel Eiweis-N dieselbe Menge Leim-N physiologisch gleichwertig, wahrscheinlich sogar überlegen ist. Nach den anfangs gemachten Ausführungen würde also von unserem täglichen Zerfall von Körpersubstanz ein Fünftel auf das leimgebende Gewebe bezogen werden müssen;

2. dass ein Fünftel auch die Grenze des vollwertigen Ersatzes von Eiweiss durch Leim ist, denn schon bei Ersatz von einem Viertel Eiweiss-N durch Leim-N tritt eine kleine Unterbilanz zuungunsten des Leims auf.

So wird durch die Tatsachen die bis dahin hypothetische Annahme von J. Munk[1]) bestätigt, dass, „wenn, wie in der Kost des Menschen, allerhöchstens ein Fünftel der N-haltigen Substanzen sich in Form von Leim und vier Fünftel in Form von Eiweiss finden, der Leim als dem Eiweiss gleichwertig zu erachten ist“.

II.

Im Anschluss an die Entdeckung von Otto Cohnheim[2]), dass im Verdauungsapparat das Eiweiss in viel grösserem Umfang, als man bis dahin angenommen hatte, zu kristallinischen Abbauprodukten zerlegt wird, hat Otto Loewi[3]) als erster mit Erfolg versucht, Abbauprodukte des Eiweisses zu verfüttern; es gelang ihm, bei einer Hündin durch Ernährung mit Pankreasverdauungsprodukten Stickstoffgleichgewicht zu erzielen; es glückte ihm also eine physiologische Eiweisssynthese, und zwar in einer elftägigen Versuchsreihe.

Da bereits geringe Mengen von Verdauungslösungen bei direkter Injektion in die Blutbahn äusserst giftig sind, so nimmt Loewi[4]) an, dass bei der Eiweissverdauung eine tiefgehende Spaltung des Eiweissmoleküls im Darm stattfindet, dass die Spaltungsprodukte durch Bindekörper des Blutes aufgenommen werden, die je nach Bedarf der Organe diesen von ihrer Ladung abgehen. Als Resultat seines gelungenen Versuches kommt er zu dem Schluss, „dass die Summe der biuretfreien Endprodukte Nahrungseiweiss ersetzen, d. h. für alle Teile des im Stoffwandel zugrunde gehenden Körpereiweisses

1) Real-Enzyklopädie der ges. Heilkunde. Leimstoffe S. 405.

2) Chemie der Eiweisskörper.

3) Über Eiweisssynthese im Tierkörper S. 315.

4) Eiweisssynthese S. 324—325.

eintreten kann. Also auch das Tier kann Eiweiss aufbauen und ist nicht auf Nahrungseiweiss angewiesen, sofern wir in der biuretgebenden Gruppe dessen Charakteristikum erblicken wollen".

Ebenso haben in neuerer Zeit Abderhalden und Peter Rona[1]) gezeigt, dass es gelingt, Mäuse mit einem durch Pankreatinverdauung aus Kasein gewonnenen, biuretfreien, zum grössten Teil aus Aminosäuren bestehenden Produkte ebensolange am Leben zu erhalten wie mit unverändertem Kasein selbst. „Der tierische Organismus vermag aus Aminosäuren und komplizierten, biuretfreien Produkten seinen Bedarf an Eiweiss vollkommen zu decken."

Der Leim ist nun sicher dem Eiweiss sehr nahestehend, denn er liefert eine grosse Anzahl von Abbauprodukten, welche mit denen des Eiweisses identisch sind. Es wurde daher die alte Idee von Hermann, die Escher zuerst ausgeführt hat, von mir wiederaufgenommen, durch Zusatz von Spaltungsprodukten des Eiweisses, die im Leim nicht oder nur in geringen Mengen gefunden worden sind, im Tierkörper eine Eiweisssynthese zu versuchen.

Es ist seit langem bekannt, dass der aromatische Atomkomplex im Leim fast vollständig fehlt, wenn auch Maly[2]) durch Oxydation des Leims eine Säure erhalten hat, die bei Behandlung mit Chromsäure Benzoesäure liefert; denn es handelt sich bei letzterer um ganz geringe Mengen. Nach J. Munk erhält Leim 50 % C, 17,9 % N und nur 0,6 % S, während Eiweiss 53,6 % C, 1 bis 1,2 % S und nur 16 % N enthält.

Seit E. Fischer[3]) eine verbesserte Methode der Hydrolyse mit Salzsäure angegeben hat, sind die Spaltungsprodukte der verschiedenen Eiweissarten und des Leims genauer bekannt geworden. Aus den bisher veröffentlichten Ergebnissen älterer und neuerer Autoren habe ich mir die umstehende Tabelle zusammengestellt[4]):

1) Zeitschrift für physiol. Chemie Bd. 44 S. 198.

2) Monatshefte für Chemie Bd. 10 S. 26.

3) Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 33 S. 151. „Hydrolyse des Kaseins durch Salzsäure".

4) Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 35 S. 70. Fischer, Levene und Aders, Über die Hydrolyse des Leims. Ebenda Bd. 36 S. 268. Fischer und Abderhalden, Hydrolyse des Oxyhämoglobins durch Salzsäure. Ebenda Bd. 36 S. 462. Fischer und Dörpinghaus, Hydrolyse des Horns. Taylor, Über Eiweissspaltung durch Bakterien. — Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft Bd. 32 S. 2451, Bd. 33 S. 2370, Bd. 33 S. 2383. E. Fischer, l. c. Bd. 34 S. 3214. Kossel, Über den gegenwärtigen Stand der Eiweisschemie.

	Leim %	Kasein	Horn	Oxy-hämo-globin	Eier-albumin	Serum-albumin	Edestin
Glykokoll	16,5	wahrscheinlich	0,34				3,8
Alanin	0,8	+	1,20	4,02		2,68	3,6
Leucin	ca. 4,0	ca. 5,0	18,3	27,82	+	20,0	20,9
Asparaginsäure	0,56	+	2,5	4,25		3,12	4,5
Glutaminsäure	0,88	+	3,00	1,66		1,52	6,3
α-Pyrrolidin-Karbonsäure .	5,2	+	3,6	2,25	+	1,04	1,7
Serin	?	+	0,68	0,54		0,6	0,33
Phenylalanin	0,4	2,50	3,0	3,38	+	3,08	1,4
Tyrosin	—	> 3,5 (Cohn)	+	1,28	+	2,1	2,13
Arginin	+	+	+	1,0			2,0
Lysin	+	+	+	4,1			+
Histidin	+	+	+	10,5			1,1
Cystin	+	+	+	0,3	+	2,3	0,25

Das Tyrosin fehlt im Leim; es fällt auf, wie gering die Menge der aromatischen Abbauprodukte im Leim ist, aber eine genaue prozentualische Berechnung der einzelnen Spaltungsprodukte im Leim einerseits, anderseits im Eiweiss liess sich aus den bisher erschienenen Arbeiten nicht entnehmen. Es ist nicht nur wichtig, zu wissen, welche Abbauprodukte als Zusatz zum Leim in Betracht kommen, sondern auch, wieviel Prozent des Leim-N durch Stickstoff von Eiweissabbauprodukten zu ersetzen ist. Denn es ist leicht möglich, dass beim Stoffwechselversuch ein Zuviel ebensowohl wie ein Zuwenig eines Spaltungsproduktes die physiologische Eiweisssynthese beeinträchtigen könnte.

Indol und Skatol wurden weder bei Fäulnis noch bei Hydrolyse mit Salzsäure aus Leim erhalten, während sie bekanntlich aus Eiweiss abspaltbar sind. Nun wurde von Hopkins und Cole[1]) eine Säure $C_{11}H_{12}N_2O_2$ (Indolaminopropionsäure oder Skatolaminoessigsäure?) unter den tryptischen und Säurespaltungsprodukten von Eiweisskörpern (Kasein, Eieralbumin, Serumeiweiss) aufgefunden, die zur Fütterung geeignet erscheinen konnte.

Das Verhältnis von Monamino- und Diaminosäure im Leim sowohl wie im Eiweiss, womit sich Hausmann[2]) beschäftigt hat, ist zurzeit noch unsicher.

Nach den Erfahrungen und Berechnungen von Dr. Abder-

1) Journal of Physiol. vol. 27 p. 418.

2) Zeitschrift für physiologische Chemie Bd. 27 S. 95. „Über die Verteilung des Stickstoffs im Eiweissmolekül.“

halden, der mich überhaupt in dankenswerter Weise beraten hat, empfahl es sich, 4 % des Leim-N durch Tyrosin-N und 2 1/2 % Leim-N durch Tryptophan-N zu ersetzen.

Das Tyrosin wurde durch tryptische Verdauung von Plasmon mit Pankreatin gewonnen. Selbsthergestelltes Tryptophan stellte mir erst Herr Dr. Oppenheimer, Assistent des Instituts, in liebenswürdiger Weise zur Verfügung; später habe ich es in grösseren Mengen aus Plasmon nach der von Hopkins und Cole angegebenen Methode hergestellt.

Es wurden wieder die beiden Hündinnen benützt.

Der grosse Hund sollte bekommen:

561 ccm Milch	. . 3,00 g N;	365	Kal.
11,9 g Plasmon	. 1,50 g N;	49	"
20 g Stärke	. . 0,001 g N;	82	"
58 g Zucker	. (3,9 Kal. pro g)	226	"
50 g Fett	. . . .	475	"
Im ganzen	. . . . 4,5 g N;	1197	Kal.

oder pro Kilogramm, da das Gewicht 17 370 g betrug, 0,26 g N und fast 69 Kal.

Die N-Zahl wurde niedriger genommen als früher, um den in den früheren Versuchen beobachteten N-Überschuss zu vermeiden.

Von den 4,5 g N sollten 1,5 g, also ein Drittel, durch Leim, kombiniert mit Tyrosin und Tryptophan, ersetzt werden.

Tyrosin· p-Oxyphenylalanin $HO(4)C_6H_4CH_2CHNH_2COOH$ enthält 7,735 % N und 5,9 Kal.; davon mussten also zugegeben werden 0,776 g.

Tryptophan 13,72 % N; Kal. ?, 0,273 g zu geben.

Ferner 9,26 g Gelatine.

Die übrige Nahrung blieb dieselbe, auch die Kalorienzahl blieb gleich. Zu bemerken ist noch, dass, während die Urinmenge in der ersten und dritten Periode täglich ca. 250 ccm betrug, sie während der Gelatineperiode ca. 400 ccm ausmachte.

Tabelle III. Grosser Hund.

1/3 Leim-N, 4 % Tyrosin, 2 1/2 % Tryptophan.

Datum	Gewicht g	N-Einnahme	N-Ausgabe Urin	Kot-N	Gesamt-N-Ausgabe	Bilanz
16. Jan.	17 370	4,50	4,86	0,60	5,46	— 0,96
17. "	17 420 Kot	4,50	4,31	0,60	4,91	— 0,41
18. "	17 440	4,50	4,25	0,60	4.85	— 0,35

Datum	Gewicht g	N-Ein-nahme	N-Ausgabe Urin	Kot-N	Gesamt-N-Ausgabe	Bilanz
			Vorperiode			
19. Jan.	17 270	4,50	4,40	0,60	5,00	— 0,50
20. „	17 210 Kot	4,50	3,76	0,60	4,36	+ 0,14
21. „	17 200	4,50	4,009	0,60	4,60	— 0,10
22. „	17 150 Kot	4,50	4,11	0,60	4,71	— 0,21
23. „	17 100	4,50	4,04	0,60	4,64	— 0,14
			Mittel.		**4,66**	**— 0,16**
			Leimperiode			
24. Jan.	17 100	4,50	4,22	0,50	4,72	— 0,22
25. „	17 100	4,50	4,32	0,50	4,82	— 0,32
26. „	17 050 Kot	4,50	3,86	0,50	4,36	+ 0,14
27. „	17 000	4,50	4,16	0,50	4,66	— 0,16
28. „	16 950 Kot	4,50	3,90	0,50	4,40	+ 0,10
29. „	16 900	4,50	4,14	0,50	4,64	— 0,14
			Mittel.		**4,60**	**— 0,10**
			Nachperiode.			
30. Jan.	16 900	4,50	4,02	0,71	4,73	— 0,23
31. „	16 850	4,50	4,10	0,71	4,81	— 0,31
1. Febr.	16 800 Kot	4,50	3,90	0,71	4,61	— 0,11
2. „	16 700	4,50	4,02	0,71	4,73	— 0,23
3. „	16 750	4,50	4,04	0,71	4,75	— 0,25
4. „	16 730 Kot		Mittel.		**4,72**	**— 0,22**

Von der ersten Periode wurden die drei ersten Tage nicht mitgerechnet. Die Bilanz zeigt das überraschende Resultat, dass die Total-N-Ausgabe in der zweiten Periode sogar geringer ist als in den beiden anderen. Vielleicht ist dies der geringeren N-Ausgabe im Kot beizumessen.

Die Mischung leistet für die Erhaltung des Körperbestandes mindestens so viel wie das Kasein, und es ist deshalb wenigstens äusserst wahrscheinlich, dass bei etwas grösseren absoluten Mengen der Gelatinemischung sich die negative Bilanz ebensogut wie durch etwas grössere Gaben von Kasein hätte beseitigen lassen.

Gleichzeitig sollte beim kleinen Hund die Hälfte des Kaseins durch kombinierte Leimgabe ersetzt werden.

Er sollte bekommen:

232 ccm Milch . . .	1,25 g N;	150 Kal.,
9,82 g Plasmon . .	1,25 g N;	41 „
35 „ Fett . . .		332 „
10 „ Stärke . . .		41 „
60 „ Zucker . . .		234 „
Im ganzen	2,5 g N;	798 Kal.

oder, da das Gewicht am 16. Januar 8320 g betrug, pro Kilogramm 96 Kal. und 0,3 g N.

Von den 2,5 g N sollte er 1,25 g N als Leim-N bekommen.

Also 0,646 g Tyrosin = 0,05 g N,
0,226 „ Tryptophan = 0,031 „ N,
und 7,73 „ Gelatine = 1,17 „ N.

Die übrige Nahrung blieb dieselbe, die Anzahl der Kalorien war dieselbe wie in der ersten Periode.

Schon vom zweiten Tag der Hauptperiode an berührte das Tier seine Nahrung nicht mehr, so dass sie bis zum Ende des Versuchs mittelst Schlundsonde gegeben werden musste. Um dem Brechreiz entgegenzuwirken, wurde der Hund nach der Fütterung eine Zeitlang mit erhobenem Kopf hin und her geführt. Es gelang so, Erbrechen zu vermeiden. Um das Gemisch dünnflüssiger zu machen, wurden statt der 10 g Stärke 10 g Rohrzucker gegeben, was für die Berechnung der Kalorien nur einen Minimalunterschied ausmachte.

Tabelle III. Kleiner Hund.

1/2 Leim-N, 4 % Tyrosin, 2 1/2 % Tryptophan.

Datum	Gewicht g	N-Einnahme	N-Ausgabe Urin	Kot-N	Gesamt-N-Ausgabe	Bilanz
		Vorperiode:				
16. Januar	8320 Kot	2,50	2,46	0,31	2,77	— 0,27
17. „	8300 „	2,50	2,34	0,31	2,65	— 0,15
18. „	8260 „	2,50	2,32	0,31	2,63	— 0,13
19. „	8240 „	2,50	2,52	0,31	2,83	— 0,33
20. „	8210 „	2,50	2,46	0,31	2,77	— 0,27
21. „	8230 „	2,50	2,36	0,31	2,67	— 0,17
22. „	8240 „	2,50	2,33	0,31	2,64	— 0,14
23. „	8200 „	2,50	2,18	0,31	2,49	+ 0,01
			Mittel . . .		**2,68**	**— 0,18**
		Leimperiode:				
24. Januar	8150 Kot	2,50	2,40	0,28	2,68	— 0,18
25. „	8100 „	2,50	2,32	0,28	2,60	— 0,10
26. „	8050 „	2,50	2,11	0,28	2,39	+ 0,11
27. „	8000 „	2,50	2,45	0,28	2,73	— 0,23
28. „	7950 „	2,50	2,22	0,28	2,50	± 0
29. „	7950 „	2,50	1,83	0,28	2,11	+ 0,39
			Mittel . . .		**2,50**	**± 0**
		Nachperiode:				
30. Januar	7900 Kot	2,50	2,37	0,34	2,71	— 0,21
31. „	7850 „	2,50	2,46	0,34	2,80	— 0,30
1. Februar	7800 „	2,50	2,28	0,34	2,62	— 0,12
2. „	7760 „	2,50	2,15	0,34	2,49	+ 0,01
3. „	7700 „	2,50	2,17	0,34	2,51	— 0,01
4. „	7710 „	—	—	—	—	—
			Mittel . . .		**2,62**	**— 0,12**

Da die N-Ausgabe gleich vom 16. Januar an gleichmässig war, so wurde in der Vorperiode von diesem Tage an gerechnet.

Hier spricht die N-Bilanz sogar zugunsten der zweiten Periode; trotz der Sondenfütterung wurde die Kost gut resorbiert. Die N-Zahl für Kot ist in der zweiten Periode etwas geringer als in den beiden anderen.

Durch die bisherigen Versuche ist also bewiesen, dass die Vollwertigkeit des Leimes als Ersatz des Eiweisses, welche ihre Grenze findet, wenn $^1/_6$ des Stickstoffs in Form von Leim gegeben wird, durch Zugabe von Tyrosin und Tryptophan bis auf die Hälfte des Gesamtstickstoffs erhöht werden kann. Es war nun zu untersuchen, ob die Vertretbarkeit noch weiter gehe.

Im Leim ist weniger Schwefel enthalten als im Eiweiss. So hat Michel[1]) im Serum-Albumin 1,10 % Schwefel gefunden, während die höchste bisher (von Chittenden) gefundene Schwefelzahl im Leim 0,75 % beträgt. Da der Schwefel wohl hauptsächlich auf das schwefelhaltige Cystin zu rechnen ist, so beschloss ich bei einem weiteren Versuche, wobei alles Eiweiss durch Leim ersetzt werden sollte, 2 % des Leim-N durch Cystin-N zu ersetzen, so dass also nur 93 % Leim-N, 4 % Tyrosin-N, 2 % Cystin-N und weniger Tryptophan-N als früher, nur 1 % gegeben werden sollte.

Cystin stellte ich nach einem mir von Dr. Abderhalden mitgeteilten einfachen Verfahren dar; 300 g Menschenhaare wurden mit einem Liter rauchender Salzsäure sechs Stunden am Rückflusskühler gekocht, die Lösung noch warm mit Natronlauge alkalisch gemacht, filtriert und das Filtrat in den Eisschrank gestellt.

Von dem kristallisierten Tyrosin und etwaigem Kochsalz wird abfiltriert, das Filtrat wird mit Eisessig angesäuert. Es fällt dann reichlich Cystin aus, dasselbe wird in heisser Ammoniaklösung wieder gelöst und durch Eisessig wieder ausgefällt.

Schwierigkeiten musste das Einführen von grossen Mengen Leim bereiten, da die Tiere durch die verschiedenen Stoffwechselversuche einen Widerwillen gegen Leim bekommen hatten. Andererseits sind so gut fressende und ausdauernde Hunde schwer zu finden. Es wurde deshalb beschlossen, nach einer achttägigen Pause beide Hunde hungern zu lassen. Der grosse Hund sollte von seinem Gewicht 17140 g bis auf 15 kg zurückgehen, der kleine Hund von 9080 g auf 7 kg. Damit sollte zweierlei bezweckt werden:

---

1) Würzburger physik. medizin. Gesellsch. N. F. Bd. 117. 1895.

1. sollte die für das Stickstoffgleichgewicht nötige N-Einfuhr entsprechend dem geringeren Körpergewicht verringert werden und damit auch die Leimmenge und

2. sollten die Tiere für die unangenehme Kost durch Hunger vorbereitet werden. Der Versuch sollte gleich mit der Leimperiode beginnen, nach acht Tagen die Eiweissperiode sich daran anschliessen.

Beim grossen Hund betrug die N-Ausgabe vom 15. bis 17. Februar:

3,14 g, 3,20 g, 3,16 g;

beim kleinen Hund:

1,68 g, 1,60 g, 1,74 g.

Am 17. Februar wurde der Kot mit Kieselsäure, die mit 50 bezw. 30 g Fett vermengt war, abgegrenzt.

Am 18. Februar begann der Versuch. Der grosse Hund bekam pro Kiliogramm 86 ½ Kal. und im ganzen 5,61 g N.

Der kleine Hund pro Kilogramm 92 Kal. und im ganzen 3,5 g N. Nachdem der grosse Hund die ersten fünf Tage gut gefressen hatte, fing er am sechsten Tage an zu brechen, so dass der Versuch aufgegeben werden musste. Die N-Ausgaben im Gesamturin waren vom 18. bis 22. Februar:

am 18. Februar	5,5 g,	am 21. Februar	4,66 g,
„ 19. „	4,8 „	„ 22. „	4,73 „
„ 20. „	4,70 „		

Zahlen, die entschieden die Tendenz zur geringeren N-Ausscheidung zeigen und wahrscheinlich samt 0,4 bis 0,5 g Kot-N 5,16 g N-Einnahme kaum überschritten hätten.

Wenn auch die Vergleichsperiode fehlt, so wissen wir doch aus zahlreichen Versuchen, auch aus den von mir gemachten, dass dieser Hund, wenn er den Leim ohne die Zusätze bekommen hätte, erheblichen Stickstoffverlust erlitten, aller Voraussicht nach eine negative Bilanz in Höhe von ca. — 3 g N pro Tag aufgewiesen hätte. Wenn wir in unserem Falle annehmen, dass er die höchste früher gefundene Stickstoffausscheidung im Kot von 0,5 g auch in diesem Ealle gehabt hätte, so würden sich die täglichen N-Ausgaben und die Bilanz wie folgt stellen:

	N-Ausgabe	N-Bilanz
18. Februar	6,0	— 0,39,
19. „	5,3	+ 0,31,
20. „	5,2	+ 0,41,
21. „	5,16	+ 0,45,
22. „	5,23	+ 0,38.

Es scheint also in der Tat, dass die von mir gewählte Mischung einen vollwertigen Ersatz des Eiweisses darstellt.

Der kleine Hund musste gleich mit der Schlundsonde gefüttert werden, brach am zweiten Tage alles aus; das Erbrochene wurde aufgefangen und ihm nach einigen Stunden wieder mit der Schlundsonde gegeben. Als er wieder brach, wurde der Versuch aufgegeben. Der kleine Hund starb am 29. Februar; die Sektion ergab nur allgemeine Abmagerung und ein schlaffes Herz. Der grosse Hund starb am 9. März an einer linksseitigen Lungenentzündung, welche zur Zeit unter den Hunden des Laboratoriums mehrfach Opfer forderte. Der Urin war dauernd eiweissfrei geblieben, die Nieren waren nicht erkrankt. Die Befunde gaben keinen Anhalt dafür, dass die verabreichten Spaltungsprodukte toxische Wirkungen besässen.

Es schien nach diesen Erfahrungen schwierig, wenn nicht unmöglich, Hunden eine den ganzen Stickstoffbedarf deckende Leimmenge einzuführen. Andererseits liess doch der rudimentäre Versuch am grossen Hunde kaum noch einen Zweifel, dass es möglich sein werde, dem Leim durch Beigabe der ihm fehlenden Bauelemente des Eiweisses den vollen Nährwert von Eiweiss zu geben. So beschloss ich denn, den Stoffwechselversuch an mir selbst auszuführen.

Selbstversuch.

Es handelte sich um einen sehr muskulösen Mann mit geringem Fettpolster, Gewicht 80690 g. Vor dem Versuche wurde der N-Gehalt des Gesamturins von 24 Stunden bestimmt, er betrug 14,6 g N. Die Nahrung sollte pro Kilogramm ca. 40 Kal. und 0,2 g N liefern. Als einzige stickstoffhaltige Nahrung sollte das Plasmon dienen, so dass es sich um den alleinigen Ersatz von Kasein-N durch Leim-N handelte; in der Stärke, in der Butter, im Tee und Wein sind so geringe Mengen N enthalten, dass man sie vernachlässigen kann, da sie entfernt nicht ausreichen, den Eiweissbedarf zu decken, wenn man auch dem Leim extremste eiweisssparende Wirkung zuschreiben wollte. Bei den Hunden hatte der Zusatz von Stärke der abführenden Wirkung des Leims entgegengewirkt. Da viel Butter aufzunehmen war, so war zu befürchten, dass trotz der miteingeführten Stärke sich Durchfall einstellen würde. Deshalb, und weil es sich zugleich um eine Person handelte, die an Alkoholgenuss gewöhnt war, wurde ein stark gerbsäurehaltiger sizilianischer Rotwein „Etna“ bezogen,

dessen Reinheit und gleiche Zusammensetzung in jeder Flasche garantiert wurde. Während der Versuchszeit hat der feurige Wein nicht wenig dazu beigetragen, die Verdauung anzuregen und den Brechreiz zu bekämpfen.

Das Plasmon wurde mit Salz und Zucker, Stärke, Butter und etwas Himbeersaft zu einer Art Kuchen zusammengebacken und dazu aus Himbeersaft, etwas Wein und Wasser eine Sauce bereitet. Zum Frühstück wurde aus 1 g Tee und 10 g Zucker ein leicht anregendes Getränk bereitet. Der Plasmonkuchen wurde mittags und abends genommen, der Wein und beliebig Wasser wurden im Laufe des Tages getrunken.

Schwieriger war es, die grossen Mengen Gelatine geniessbar zu machen. Denn die erkaltete Masse schmeckte mit der Stärke gemischt widerlich klebrig wie Leim. Deshalb wurde die Gelatine mit der Butter zusammen erst erwärmt und flüssig gemacht, in der Flüssigkeit die Stärke, der Zucker, die abgewogene Menge Tyrosin, Cystin und Tryptophan, etwas Himbeersaft und reichlich Wein verrührt und noch warm getrunken. Diesmal wurde eine rot gefärbte, auch wieder vollkommen eiweissfreie Gelatine verwandt. Der Farbstoff wurde chemisch als neutrales Fuchsin identifiziert. Dieser rote Farbstoff ging auch auf den Kot über, wie es sich bei dem vorigen Tierversuch gezeigt hatte. Dadurch grenzte sich der Kot deutlich von der anderen Periode ab. Vor Beginn des Versuchs und nach der dritten Periode wurde der Kot durch hohes Klistier abgegrenzt. Die kotfärbende Wirkung des neutralen Fuchsins wurde von mir späterhin geprüft und dabei gefunden, dass etwa $^1/_2$ g des etwas bitter schmeckenden Fuchsins genügt, um den Kot deutlich rot zu färben und somit abzugrenzen.

Dieses Fuchsin muss als stickstoffhaltiger Stoff mit berücksichtigt werden. Da nach der Kotfärbung zu schliessen weniger als 0,5 g des Farbstoffes eingeführt wurden, so können, da das Fuchsin, dessen Hauptbestandteil das Rosanilin, das Chlorhydrat des Anhydro-p_2-triamidodiphenyl-m-tolylcarbinols: $C_{20}H_{19}N_3 \cdot HCl + 4\ H_2O$ einen Stickstoffgehalt von 10,23 % hat, höchstens 0,05 g N dem Fuchsin angehören. Da dieser Stickstoff für die Eiweisssynthese wohl schwerlich etwas bedeutet, so wird durch den Ersatz von 5 cg Leim-N durch Fuchsin-N das Resultat nur prägnanter.

In der Vor- und Nachperiode wurde an Nahrung eingenommen:

110 g Plasmon (bezw. vom dritten Tage an 120 g)
12,72 % N, 0,5 % Fett und 4,1 Kal. pro Gramm
135 g Rohrzucker . . . . 3,9 „ „ „
100 „ Stärke 0,4 % N . . . . 4,1 „ „ „
150 „ Butter (vom dritten Tage an 175 g), deren Fettgehalt entsprechend dem gewöhnlichen Befund 87 %ig angenommen wurde, 0,18 % N und 8,03 Kal. pro Gramm.

600 g Wein 0,033 % N; 10,36 % Alkohol. Vom Alkohol müssen 2 % als unverbrannt verloren gehend berücksichtigt werden. Ich rechne deshalb pro Gramm 7,0 Kal.

70 g Himbeersaft, davon 60 % Trockensubstanz = Traubenzucker,
1 „ Saft = 2,34 Kal.
1 „ Tee (Infus) 1,02 % N, also

in Plasmon	13,99 g N	resp. 15,26 g N;	451 Kal.	resp. 492 Kal.
„ Butter	0,27 „ „	0,31 „ „	1200 „	1400 „
„ Stärke	0,4 „ „			410 „
„ Wein	0,2 „ „			434 „
„ Rohrzucker				526 „
„ Himbeersaft				163 „
„ Tee	0,01 „ „			
im ganzen	14,87 g N;		3184 Kal.	

bezw. vom dritten Tage an 16,1 g N; 3425 Kal.; pro Kilogramm 0,18 g N bezw. 0,2 g N und 39 bezw. 42 Kal.

Am zweiten Versuchstage hatte das Gewicht um 720 g abgenommen, am dritten Tage 980 g, deshalb wurde die Nahrungseinnahme erhöht durch Mehrgabe von 10 g Plasmon und 25 g Butter.

In der Hauptperiode traten an die Stelle von 120 g Plasmon = 15,264 g N, dieselbe Menge N in der Weise, dass 93 % ersetzt wurden durch Gelatine-N, 4 % durch Tyrosin-N, 2 % durch Cystin-N und 1 % durch Tryptophan-N. Die angewandte Gelatine enthielt 14,28 % N. Somit wurden ausgerechnet 99,4 g Gelatine = 14,19 g N, 7,89 g Tyrosin = 0,6104 g N, 1,11 g Tryptophan = 0,1526 g N.

Cystin, Dithio-diamido-dimilchsäure

$$\begin{array}{ccc} CH_2 - S & - & S - CH_2 \\ CH\cdot NH_2 & & CH\cdot NH_2 \\ COOH & & COOH \end{array}$$

enthält 11,66 % N, die Kalorienzahl ist unbekannt; davon wurden berechnet 2,61 g = 0,3052 g N.

Die übrige Nahrung war dieselbe wie in der Vorperiode. Die Kalorienzahl kommt der in der Vorperiode ziemlich gleich.

An die Hauptperiode wurden noch drei Tage Nachperiode angeschlossen. Die N-Ein- und Ausgaben sind aus beiliegender Tabelle zu ersehen:

Tabelle IV. Selbstversuch.

Ersatz von allem Kasein-N durch Leim-N.

Datum	Gewicht g	Flüssigkeitsaufnahme	Urinmenge	N-Einnahme	Urin-N	Kot-N	Total-N-Ausgabe	Bilanz
6. April	80 690 Kot	2540	1730	14,87	14,95	1,74	16,69	— 1,82
				Vorperiode:				
7. April	79 970 Kot	2010	2346	14,87	14,43	1,74	16,17	— 1,30
8. „	79 000 „	3565	1425	16,18	15,04	1,74	16,78	— 0,60
9. „	79 640 „	2810	2470	16,18	15,47	1,74	17,21	— 1,03
				Mittel				— 0,97
				Leimperiode:				
10. April	79 290 Kot	2900	1850	16,18	15,09	1,43	16,52	— 0,34
11. „	80 345 „	2270	2560	16,18	15,67	1,43	17,10	— 0,92
12. „	79 560 „	3150	2710	16,18	16,09	1,43	17,52	— 1,34
13. „	79 130 „	2600	1990	16,18	15,38	1,43	16,81	— 0,63
14. „	78 940 „	2550	1620	16,18	14,21	1,43	15,64	+ 0,54
				Mittel			16,71	— 0,538
				Nachperiode:				
15. April	78 825 Kot	2570	2430	16,18	13,81	1,75	15,56	+ 0,62
16. „	79 015 „	2400	2135	16,18	14,47	1,75	16,22	— 0,04
17. „	78 920 „	2700	2560	16,18	14,79	1,75	16,54	— 0,36
18. „	78 810 „			Mittel			16,10	+ 0,07

Der erste Tag ist ausser Betracht zu lassen, weil hier noch eine Nachwirkung der früheren Kost anzunehmen ist. In den ersten Tagen bestanden grosse Abgeschlagenheit, schlechtes Aussehen, jedoch kein Fieber. Der Urin war sauer und eiweissfrei. Bei Betrachtung der Gewichtszahlen der einzelnen Tage fallen die grossen Schwankungen auf. Gewogen wurde um dieselbe Zeit unter denselben Bedingungen. Tatsächlich entsprach der starken Gewichtsabnahme der ersten Tage nicht ein grosser Stickstoffverlust; die Gewichtsabnahme und auch die Schwankungen sind wohl nur auf Wasserverlust zu beziehen, ein Beweis, wie vorsichtig Wägungen bei veränderter Kost aufgefasst werden müssen. Während des ganzen Versuches bestand grosse Mattigkeit und Unlust zur Arbeit, auch die Stimmung war etwas deprimiert; die Kalorienzufuhr war reichlich, wenn sie auch anscheinend den Bedarf nicht ganz deckte und der N-Verlust nicht

sehr gross, deshalb ist die grosse Mattigkeit wahrscheinlich auf das Fehlen von genügend Extraktstoffen, die ja eine Nahrung schmackhaft machen und anregend auf das Nervensystem wirken, auf die mit Widerwillen genossene Kost zu beziehen. Vielleicht spielen auch gewisse Toxinwirkungen eine Rolle.

Die Vergleichung der mittleren N-Ausgaben in den drei Perioden zeigt eine Tendenz zur Verringerung derselben. Die Hauptperiode steht auch in dieser Hinsicht in der Mitte. Während dieser war übrigens das Befinden noch relativ am besten. Ganz auffallend ist die geringere Kot-N-Zahl in der zweiten Periode. Sie beweist, dass der Leim-N besser ausgenutzt wurde als das leicht lösliche Caseinnatrium.

Selbst wenn man die günstige Bilanz der zweiten Periode im Vergleich zur ersten auf die geringere Kot-N-Zahl beziehen muss, so scheint doch der Zusatz der erwähnten aromatischen Aminosäuren den Leim dem Eiweiss fast gleichwertig zu machen. Vergleicht man mit dem Resultat der Hauptperiode, wo fast sämtlicher Eiweiss-N bis auf die in Butter und Stärke enthaltenen Spuren durch Leimstickstoff ersetzt wurde, die Tabelle I, kleiner Hund, wo schon durch den Ersatz von ein Drittel Eiweiss-N durch Leim-N ein Stickstoffverlust entstand, der fast drei Viertel des Leim-N entsprach, so leuchtet ohne weiteres ein, dass der mit den erwähnten aromatischen Aminosäuren versetzte Leim physiologisch dem Eiweiss nahekommt, ja ihm vielleicht vollkommen gleichwertig ist. Ob das von mir angewandte Aminosäurengemisch gerade das günstigste ist, ob nicht andere Zusätze zum Leim noch günstiger wirken würden, das zu untersuchen muss der Zukunft vorbehalten bleiben.

Im Urin konnte keine der drei genossenen Aminosäuren nachgewiesen werden.

Das Tyrosin konnte weder mikroskopisch durch die typischen Nadeln, noch durch die Proben von Piria, Denigès und Wurster nachgewiesen werden.

Das Tryptophan konnte im Urin weder mit der Adamkiewiczschen Glyoxylsäurereaktion noch durch die Tryptophanreaktion (Rotfärbung auf Zusatz von Bromwasser), noch durch die Pyrrolreaktion nachgewiesen werden. Die Proben auf Indol und Skatol fielen alle negativ aus. Auch der Nachweis von Indoxylschwefelsäure gelang nicht. Nach den neuesten Untersuchungen über Tryptophan entspricht dies dem allgemeinen Befund [1]).

1) Zeitschr. f. chem. Phys. u. Path. Bd. 4 S. 171. Ellinger u. Gentzen.

Im Harnsediment fanden sich sechsseitige Tafeln, die zuerst für Cystin gehalten wurden. Bei Erwärmung derselben mit Ammoniak und nachherigem Zusatz von Essigsäure erfolgte aber keine Kristallisation mehr. Es handelte sich also um Harnsäurekristalle. Um das Cystin chemisch nachzuweisen, wurde 1 Liter Harn mit 10 ccm Benzoylchlorid und überschüssiger Natronlauge bis zum Verschwinden des Benzoylchloridgeruchs geschüttelt, vom Niederschlag wurde abfiltriert, das Filtrat wurde mit Schwefelsäure angesäuert und mit Äther ausgeschüttelt. Nach Verdampfung des Äthers wurde der Rückstand mit Natronlauge und Bleiacetat erwärmt, es bildete sich aber kein Schwefelblei. Somit konnte Benzoylcystin nicht isoliert werden, folglich enthielt der Harn kein Cystin. Dagegen entstand beim Kochen des Harns mit Natronlauge und Bleiacetat Schwefelblei.

Dieser bleischwärzende Schwefel wurde nach K. A. H. Mörner[1]) in folgender Weise quantitativ bestimmt: 1 Liter Urin wurde mit 50 g NaOH und 10 g Bleiacetat zwölf Stunden lang gekocht. Das ausgeschiedene Schwefelblei wurde im Goochtiegel gesammelt, mit verdünnter Natronlauge ausgewaschen, nun nach Zusatz von Salpetersäure mit Bromwasser oxydiert. Die Lösung wurde im Wasserbad eingedampft, der Rückstand mit Natriumkarbonat und etwas Wasser aufgenommen, in einen Silbertiegel überführt und über einer Weingeistflamme eingetrocknet. Jetzt wurde mit Wasser ausgelaugt, das Ungelöste noch einmal mit Sodalösung erwärmt und mit Wasser ausgewaschen. Das Filtrat wurde mit Bromwasser versetzt, mit Salzsäure übersättigt, auf dem Wasserbade eingetrocknet. Der Rückstand wurde mit Salzsäure und Wasser aufgenommen, filtriert; nach genügender Verdünnung mit Wasser wurde die Schwefelsäure als Baryumsulfat bestimmt.

Der nach dieser Methode bestimmte bleischwärzende Schwefel differierte in zwei Tagen erheblich. Am zweiten Tage der Hauptperiode wurden 0,0203 g S gefunden, am dritten Tage 0,0138. Vielleicht wurde an den einzelnen Versuchstagen mehr oder weniger S zu Schwefelsäure weiter oxydiert.

An normalen Tagen wurde kein bleischwärzender Schwefel in meinem Harn gefunden.

Sadikoff[2]) fand bei seinen Untersuchungen über tierische Leimstoffe bei Kjeldahl-Bestimmungen den Stickstoffgehalt der

1) Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 34 S. 207.

2) Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 39 S. 396; Bd. 41 S. 15.

Gelatine niedriger als nach der Methode von Dumas. So fand er nach Kjeldahl N = 17,35, nach Dumas N = 17,82; ferner nach Kjeldahl N = 17,46, nach Dumas N = 17,87. Weiterhin nach Kjeldahl 17,43, nach Dumas 18,08 und Kjeldahl 17,47, Dumas 17,67 usw. Es wurde also nach Kjeldahl meist etwa ½ % N zu wenig gefunden. Der Autor schloss auf mit 20 ccm Schwefelsäure, 1 g Kupfersulfat und 10 g Kaliumsulfat, meist zwei Stunden lang.

Ich habe stets über drei Stunden aufgeschlossen, und zwar mit Schwefelsäure nebst einem kleinen Tropfen Quecksilber; feste Stoffe liess ich im Aufschlusskolben mit Wasser angesetzt einige Zeit stehen, damit nicht durch die konzentrierte Schwefelsäure eine plötzliche Verkohlung und Erhitzung, ein Entweichen von flüchtigen N-Verbindungen wie NO_2 eintrat. Bei zwei Qualitäten Gelatine habe ich den Stickstoff nach Dumas und Kjeldahl bestimmt. Die Verbrennungen nach Dumas, die im ersten chemischen Institut gemacht wurden, gingen sehr langsam vor sich und dauerten ca. vier Stunden, auch nachdem anstatt Kupferoxyd Bleichromat genommen war. Die Gelatine ist auf dem Platinblech schwer zu veraschen; kleine Stücke verbrennen über der stärksten Gebläseflamme erst nach zwei Minuten vollständig.

Folgende Zahlen wurden gefunden:

N nach Kjeldahl: 15,129 %, 15,131 % und 15,130 %,
„ Dumas: 14,88 %, 14,78 %.

Ferner bei einer weiteren besonders langwierigen Verbrennung:

Nach Dumas: 14,28 % N,
nach Kjeldahl: 14,28 % N im Mittel.

Letztere Qualität Gelatine wurde auch nach der Kjeldahlmethode mit Kupfersulfat aufgeschlossen.

Es wurden Zahlen gefunden: 13,96 g, 14,12 g, 14,20 g, 13,91 g N, die nicht nur unter sich mehr als zulässig differierten, sondern immer zu wenig Stickstoff ergaben, ein Beweis, dass die Methode mit Kupfersulfat bei so schwer verbrennbaren Körpern nicht ausreicht und die katalytische Wirkung des Quecksilbers beim Aufschliessen mit Schwefelsäure eine wichtige Rolle spielt.

Herrn Prof. Zuntz möchte ich auch an dieser Stelle für die mannigfache Unterstützung und Beratung, die er mir während der ganzen Arbeit zuteil werden liess, ergebenst danken.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Königsberg.)

Über die Bildung der Salzsäure im Magen.

Von

Dr. phil. **Alfred Benrath**, Privatdozenten für Chemie und Dr. med. **Fritz Sachs**, II. Assistenten am physiol. Institut.

Köppe[1]) hat die Salzsäurebildung im Magen auf physikalisch-chemischem Wege zu erklären versucht. Das Wesentliche seiner Theorie ist folgendes: Die Salzsäure entsteht aus den Chloriden der eingeführten Nahrung in der Drüsenwand. Diese soll eine semipermeable Wand sein und die Eigenschaft haben, Cl-Ionen den Durchtritt zu versagen, Na und H-Ionen aber zu gestatten. Die Na-Ionen sollen den Magen verlassen und an ihre Stelle die aus dem Blut oder dem Wasser des Magens stammenden H-Ionen treten. Für das Entstehen der Salzsäure nimmt Köppe einen Absonderungsreiz an, der in der Anwesenheit freier Chlor-Ionen auf der Innenseite der Magenwand bestehen soll.

Das Hauptargument für Köppes Anschauung bildet der bekannte Versuch v. Merings[2]), der einem Hunde nach Abbindung des Pylorus 100 ccm einer 66 %igen Traubenzuckerlösung in den Magen brachte und nach neun Stunden in dem herausgenommenen Magen 400 ccm einer 9 %igen Zuckerlösung fand, die neutrale Reaktion zeigte. „Also", so folgert Köppe, „trotzdem der Magen Nahrung enthielt, also ein Absonderungsreiz im bisherigen Sinne bestand, und trotzdem durch die Magenwand 300 ccm Flüssigkeit einströmten, brachten sie bei der Durchspülung der Zellen keine Salzsäure mit, weil eben weder im Blute noch in den Zellen fertige Säure vorgebildet vorhanden ist."

Die Deutung dieses Versuches erschien uns nicht einwandfrei. Nach Pawlows[3]) Untersuchungen wirkt Zucker gar nicht absonderungserregend. Somit braucht in diesem Falle die Abwesenheit von Chlor-Ionen nicht die Ursache für das Fehlen von Salzsäure gebildet zu haben.

1) Köppe, Physikalische Chemie in der Medizin S. 105 ff. Wien 1900.

2) v. Mering, Verhandl. des XII. Kongr. für innere Medizin 1893 S. 471.

3) Pawlow, Die Arbeit der Verdauungsdrüsen S. 127.

Wir haben daher zunächst versucht festzustellen, ob andere chlorfreie Lösungen nicht doch eine Salzsäureproduktion bewirken.

Um dies zu prüfen, liessen wir Hunde 24—36 Stunden hungern, damit der Magen möglichst leer von Speiseresten wurde. Dann wurde unter Morphium-Chloroformnarkose der Pylorus unterbunden, daran die Ösophagotomie angeschlossen und der Magen mehrfach mit destilliertem Wasser bis zur völligen Chlorfreiheit der ablaufenden Flüssigkeit ausgespült. Um Speichelzutritt zu vermeiden, wurde das obere Ösophagusende abgebunden und die Lösung mittels Sonde in den Magen gebracht. Nach einigen Stunden wurden die Tiere durch Nackenstich getötet und der Magen herausgenommen.

Es ergab sich nun, dass eine 5 %ige Natriumbikarbonatlösung (Versuch 1) zum Teil neutralisiert wurde und Chlornatrium in beträchtlicher Menge nachweisbar war. Nach Einführung einer 5 %igen Natriumsulfatlösung (Versuch 2) war freie Säure nachweisbar. Auch destilliertes Wasser (Versuch 3) verursachte ein Eintreten von Chlornatrium und die Bildung freier Säure. Diese letzte Erscheinung ist auch schon von Külz[1]) beobachtet worden. Er benutzte den Umstand, dass „durch den Reiz des Spülwassers“ (destillierten Wassers) Salzsäureabscheidung hervorgerufen wird, gerade dazu, den Magen zu jeder Zeit säurefrei zu machen.

Diese Versuche zeigten also, dass auch ohne Chlorgehalt der eingeführten Lösung Salzsäurebildung möglich ist, dass in den Magen, selbst wenn er eine Lösung von höherer Konzentration als das Blut enthält, Chlornatrium übertritt, so dass dadurch schon nach Köppes Anschauung in allen Fällen die Säurebildung ermöglicht sein müsste.

Andererseits bewirkt Zusatz von Chlornatrium zu der eingeführten Lösung nicht notwendig Salzsäuresekretion. So gewannen wir (Versuch 4) eine Lösung von Traubenzucker und Chlornatrium mit neutraler Reaktion zurück und bestätigten damit auch den anfangs gegen die Deutung des v. Meringschen Versuches erhobenen Einwand.

Das in den Magen übergetretene Kochsalz muss notwendigerweise aus dem Blute stammen. Um dies auch experimentell festzustellen, untersuchten wir vor und nach einem Versuch (5), bei welchem das Tier destilliertes Wasser in den Magen eingeführt erhielt, den Chlorgehalt des Blutes. Dieser hatte im Verlauf des Versuches um 8,4 % abgenommen.

---

1) Külz, Können von der Schleimhaut des Magens auch Bromide und Jodide zerlegt werden? Zeitschr. f. Biol. Bd. 23 S. 461—462.

Schliesslich gaben uns die Untersuchungen Trappes[1]) an „salzfreien“ Hunden Ausgangspunkte zu weiteren Versuchen. Trappe hat durch Fütterung von mehrfach mit destilliertem Wasser ausgekochtem Fleisch Hunde „salzfrei“ gemacht. Er hält diesen Zustand für vorhanden, wenn das Tier nach der Einnahme solchen Fleisches im Erbrochenen Fehlen von Salzsäure zeigte. Da aber Trappe die Salzentziehung bis zum äussersten fortgesetzt hat, liegt die Annahme nahe, dass Blut und Säfte dadurch so salzarm geworden waren, dass die zur Salzsäurebildung erforderliche Menge Chlornatrium auch in ihnen nicht mehr vorhanden war. Das Fehlen der Salzsäure braucht somit nicht auf die Abwesenheit von Chlor in der Nahrung zurückgeführt zu werden. Wir versuchten festzustellen, ob bei längerer Fütterung mit Fleisch von bestimmtem, äusserst geringen Chlorgehalt sich die gebildete Salzsäure quantitativ gemäss den geringen Mengen des noch in der Nahrung enthaltenen Chlors (0,001 %) bildete. Dies war (Versuch 6) nicht der Fall. Wir erhielten eine erheblich grössere Säuremenge. Also musste auch hier die Salzsäure zum grössten Teil den Chloriden des Blutes ihre Entstehung verdanken.

Dass auch die Bildung von Bromwasserstoffsäure bei Entziehung der Chloride und Ersatz derselben durch Bromide nicht gegen die Herkunft der Magensäure aus dem Blute und ihre Bildung in den Magendrüsen spricht, war schon aus dem allgemein bekannten Umstand zu folgern, dass Bromide vom Verdauungstraktus sehr schnell resorbiert und im Harn ausgeschieden werden. Wir stellten fest, dass auch vom abgebundenen Magen eines nicht salzfreien Tieres aus Bromnatrium schon innerhalb der ersten Stunde ins Blut übergetreten und darin nachzuweisen ist.

Diesen von uns gemachten Beobachtungen wären die von Verhaegen[2]) und Justesen[3]) festgestellten Erscheinungen hinzuzufügen, die durchaus gegen die Köppesche Theorie sprechen, dass nämlich Fleisch eine starke, Brot eine geringe Salzsäuresekretion hervorruft. Ferner lässt, wie Hamburger[4]) zuerst hervorgehoben

1) Trappe, Über Säurebildung im Magen S. 13ff. Inaug.-Diss. Halle 1892.

2) Verhaegen, La Cellule t. 12 p. 31. 1896; t. 14 p. 29. 1898; t. 15 p. 89. 1899.

3) Justesen, Zeitschr. f. klin. Medizin Bd. 42 S. 541. 1901. Beides zitiert nach Hamburger (siehe Anmerkung S. 4).

4) Hamburger, Osmotischer Druck und Ionenlehre Bd. 2 S. 443.

hat, Köppes Anschauung für die Erklärung der rein nervösen Magensaftabsonderung und der Pepsinbildung völlig im Stich.

Versuchsprotokolle.

1. Versuch. Hündin, 30 kg schwer, erhält 150 ccm dest. Wasser, in dem 5,0 ccm Natriumbikarbonat gelöst sind, in den Magen eingeführt. Nach 7 Stunden enthält der Magen 350 ccm einer neutral reagierenden Flüssigkeit.

Analyse. 25 ccm der Flüssigkeit verbrauchten 17,1 ccm 1/10-N-Silberlösung, entsprechend 0,0607 g Cl oder 0,1 g NaCl. In 350 ccm waren vorhanden 1,4 g NaCl.

60 ccm wurden eingedampft, der Rückstand in einem Porzellantiegel mit konzentrierter H_2SO_4 eingedampft und geglüht. Es blieben 0,5623 g Na_2SO_4, die 0,182 g Na enthalten. In 350 ccm sind demnach 0,637 g Na enthalten. Da nun 1,4 g NaCl 0,55 g Na enthalten, so entfallen 86,3% des vorhandenen Na auf NaCl.

5 g $NaHCO_3$ enthalten 1,37 g Na, es sind also nur noch 46,5% des in den Magen eingeführten Na vorhanden.

2. Versuch. Ein Hund (Pudel) von 22 kg Gewicht erhält 150 ccm dest. Wasser, in dem 5,0 g Natriumsulfat gelöst sind, eingeführt. Nach 7 Stunden finden sich im Magen 915 ccm einer sauer reagierenden Flüssigkeit.

Analyse. Wasserbestimmung des Sulfats (Durchschnittsprobe): 2,2050 g Salz verloren beim Glühen 0,3620 g H_2O, was einem Wassergehalt von 16,5% entspricht. In 5,0 g Salz sind also 4,17 g Na_2SO_4 enthalten.

Die Flüssigkeit gab mit $AgNO_3$ starken AgCl-Niederschlag.

Chlorbestimmung: 25 ccm Lösung verbrauchten 14,55 ccm 1/10-N-$AgNO_3$-Lösung, entsprechend 0,0513 g Cl. In 915 ccm sind also 1,8776 g Cl enthalten.

Säurebestimmung: 25 ccm Lösung verbrauchten 9,25 ccm 1/10-N-NaOH-Lösung. Wäre diese Säure HCl, so entspräche das 0,0328 g Cl. In 915 ccm wären alsdann 1,2014 enthalten. Von den 1,8776 g Cl müssen also 0,676 g gebunden sein.

SO_4-Bestimmung: 50 ccm Flüssigkeit lieferten 0,3590 g $BaSO_4$, entsprechend 0,148 g SO_4. Auf 915 ccm kommen alsdann 2,7084 g SO_4, die 4,01 g Na_2SO_4 entsprechen. In den Magen sind 4,17 g hineingebracht, also nur 0,16 hindurchdiffundiert.

Na-Bestimmung: 50 ccm Flüssigkeit lieferten eingedampft und mit H_2SO_4 abgeraucht 0,2935 g Na_2SO_4 entsprechend 0,095 g Na. In 915 ccm sind somit 1,738 g Na enthalten.

Nimmt man nun an, dieses Na sättige alle vorhandene SO_4 und der Rest einen Teil des Cl, so kommt auf 2,7084 g SO_4 1,29 g Na. Zur Bindung mit Cl bleiben 0,448 g Na übrig, die 0,69 g Cl entsprechen (Theoretisch 0,676).

3. Versuch. Kleiner Hund von 6½ kg erhält 300 ccm dest. Wasser. Nach 7 Stunden enthält der Magen 350 ccm Flüssigkeit von schwach saurer Reaktion, leichter Trübung (Detritus). Mit $AgNO_3$ Niederschlag von NaCl. Biuretreaktion. Beim Kochen mit verdünnter Essigsäure keine Trübung.

Analyse. Säurebestimmung: 100 ccm Flüssigkeit verbrauchten 0,20 ccm 1/10-N-NaOH, 100 ccm 0,7 ccm 1/10-N-NaOH. In 350 ccm sind also 0,0025 g Cl als freie HCl enthalten.

Cl-Bestimmung (Gesamtmenge): 25 ccm Flüssigkeit verbrauchten 7,85 ccm $^1/_{10}$-N-$AgNO_3$-Lösung. In 25 ccm sind also 0,0278 g Cl, in 350 ccm 0,3892 g Cl enthalten. Abzüglich des in HCl enthaltenen Chlors bleiben 0,3867 g gebundenes Chlor.

Na-Bestimmung: 50 ccm Flüssigkeit wurden eingedampft, der Rückstand mit Schwefelsäure abgeraucht und geglüht. Es ergaben sich 0,1080 g Na_2SO_4, demnach in 350 ccm 0,7560 g Na_2SO_4, die 0,2449 g Na entsprechen.

0.3867 g Cl entsprechen 0,250 g Na, es wurden also 97,96 % des erforderlichen Natriums gefunden.

4. Versuch. Hund von 6 kg Gewicht erhält eine Mischung von 150 ccm dest. Wasser mit 5,0 g Chlornatrium und 5,0 g Traubenzucker. Nach 7 Stunden enthält der Magen 250 ccm einer etwas schleimig getrübten Flüssigkeit von neutraler Reaktion. Keine Biuretreaktion. Fehling'sche Lösung wird reduziert.

Analyse. 25 ccm der Flüssigkeit verbrauchten 56,8 ccm $^1/_{10}$-N-$AgNO_3$. In 25 ccm sind demnach 0,20164 g Chlor, in 250 ccm 2,0164 g Chlor enthalten, was 3,32 g NaCl entspricht. Von der eingeführten Menge Chlornatrium sind also noch 66,4 % enthalten. 33,6 % sind durch die Magenwand hindurchdiffundiert.

5. Versuch. Hund von $9^1/_2$ kg Gewicht erhält 100 ccm dest. Wasser in den Magen eingeführt. Nach 7 Stunden zeigt die entleerte Flüssigkeit starke Chlorreaktion. Vor Beginn und nach Beendigung des Versuches werden dem Tier 20 bezw. 50 ccm Blut entnommen und der Chlorgehalt des Blutes quantitativ bestimmt.

Analyse. 1. Vor dem Versuch: 20 ccm Blut werden auf dem Wasserbade eingedampft, der Rückstand in einem Porzellantiegel über einer 3 cm hohen Bunsenflamme so lange erhitzt, bis keine Dämpfe mehr entweichen und die ganze Masse verkohlt war. Die Kohle wurde fein gepulvert und mehrmals mit warmem Wasser ausgezogen, bis ein Tropfen des Filtrats keinen Niederschlag mit Silberlösung lieferte.

Die gesamte Flüssigkeit verbraucht zur Fällung des Chlors 13,1 ccm $^1/_{10}$-N-Silberlösung.

In 20 ccm Blut sind also 0,0465 g, in 100 ccm 0,2325 g Chlor enthalten, was einem Gehalt von 0,383 g entspricht.

2. Nach dem Versuch: 50 ccm wurden eingedampft und ebenso behandelt wie die vorige Probe. Die Flüssigkeit verbrauchte zur Fällung des Chlors 30 ccm $^1/_{10}$-N-$AgNO_3$, was einem Gehalt von 0,1065 g Chlor entspricht. In 100 ccm sind also 0,213 g Chlor enthalten. Für den Gehalt an NaCl berechnet sich hieraus 0,351 g NaCl.

Das Blut hat also 0,032 g NaCl verloren, oder 8,4 %.

6. Versuch. Ein Hund wurde drei Wochen mit Fleisch gefüttert, das in destilliertem Wasser mehrfach ausgelaugt wurde und einen Chlorgehalt von weniger als 0,001 % zeigte. Dann wird an einem Tage eine bemessene Menge desselben Fleisches eingeführt und nach einer Stunde durch Apomorphin Erbrechen veranlasst.

1. Analyse des zur Nahrung verwandten Fleisches. Das Fleisch wurde auf dem Wasserbade getrocknet, dann zerrieben und abermals mehrere Stunden getrocknet. 10 g der trockenen Substanz wurden verkohlt, die Kohle

mit Wasser mehrfach extrahiert. Schon ein Tropfen fällt sämtliches Chlor aus. Ein Tropfen entspricht 0,03 Silberlösung oder 0,00011 g Chlor. In dem Fleisch sind also weniger als 0,00011 g Chlor enthalten, entsprechend 0,001 %.

2. Analyse des erbrochenen Mageninhalts. Der stark sauer reagierende Mageninhalt wurde mit Kaliumkarbonat neutralisiert, auf dem Wasserbad eingedampft, zerrieben, abermals eingedampft und 10 g Trockensubstanz, wobei das zugesetzte Kaliumkarbonat in Rechnung gezogen war, verkohlt. Der wässrige Auszug aus der Kohle enthielt KCl und KCN. Sämtliches Cl und CN wurde mittels Silberlösung gefällt, das Gemisch der Silbersalze getrocknet, im Tiegel zum Schmelzen geglüht, mit H_2SO_4 und Zn reduziert. Die Lösung, die nun cyanfrei war, wurde titriert. Sie verbrauchte 18,5 ccm $^1/_{10}$-N-Silberlösung, entsprechend 0,0657 g Cl. Da der gesamte Mageninhalt 27,0 g im trockenen Zustand betrug, so enthielt der Magen im ganzen 0,177 g Chlor, während das zugeführte Fleisch nur 0,003 g Chlor liefern konnte.

7. **Versuch.** Hund von 6 kg erhält 100 ccm destilliertes Wasser mit 5,0 g Bromnatrium eingeführt. In Pausen von je 20 Minuten wird dem Tier aus der Karotis Blut entnommen. Nach 3 Stunden wird das Tier getötet. Im Magen finden sich 150 ccm neutral reagierender Flüssigkeit.

1. Analyse des Mageninhalts. 10 ccm Mageninhalt verbrauchten 22,54 ccm $^1/_{10}$-N-$AgNO_3$-Lösung, entsprechend 0,2344 NaBr. In 150 ccm sind also 3,516 g NaBr enthalten. 1,5 g sind also durch die Magenwand hindurchgewandert.

2. Analyse des Blutes. Des geringen Bromgehaltes wegen musste die gesamte, während der ersten Stunde entzogene Blutmenge verwandt werden. Nach Veraschung, Extraktion mit Wasser und Eindampfen der Lösung bis auf 1 ccm ist durch Zusatz von Schwefelkohlenstoff und vorsichtige Oxydation durch einen Tropfen Chlorwasser deutliche Bromreaktion (Gelbfärbung des H_2S) zu erzielen.

Zum Schlusse sei auch theoretisch gegen Köppes Anschauung Einwand erhoben und speziell gegen die Deutung eines Versuches, aus dem Köppe einen wesentlichen Stützpunkt für seine Theorie, nämlich die Undurchlässigkeit der Magenwand für Chlor-Ionen, herleitet. v. Mering (l. c.) brachte einem Hunde 300 ccm einer 4,38 ‰igen Salzsäurelösung in den Magen und fand nach 50 Minuten 427 ccm Flüssigkeit von demselben Chlorgehalt, aber nur halbem Säuregehalt. Mit diesem Versuch ist nach Köppe die Undurchlässigkeit der Magenwand für Chlor-Ionen erwiesen. Dagegen ist nun folgendes einzuwenden: Offenbar ist die osmotische Konzentration des Blutes geringer als die der Lösung. Das beweist ja das Einströmen von Wasser in den Magen. Dies würde auch genügen, um die osmotischen Druckunterschiede auszugleichen. Soll nun für den gleichen Zweck noch Ionenwanderung eintreten, so muss diese naturgemäss analog wirken, d. h. die osmotische Konzentration des

Mageninhaltes herabzusetzen, die des Blutes zu erhöhen streben. Die beobachtete Wanderung von H-Ionen in das Blut bewirkt aber das Umgekehrte, da die H-Ionen im Blute nicht dissoziierte, schwache Säure bilden und somit die osmotische Konzentration des Blutes herabsetzen, während diese im Magen die gleiche bleibt. Das Versuchsergebnis ist physikalisch-chemisch nicht ohne weiteres zu deuten, wie überhaupt die Halbdurchlässigkeit einer Wand auf diesem Wege nicht zu beweisen ist, weil selbst in stark verdünnten Lösungen neben den Ionen eine geringe Zahl von ungespaltenen Molekülen vorhanden sein muss, damit die Gleichung $C_{Anion} \times C_{Kation} = k \times C_{Molekül}$ erfüllt wird. Ein Fortwandern von Chlor in obigem Versuche würde demnach auch keinen Beweis gegen die Undurchlässigkeit der Wand für Chlor-Ionen bilden.

Fassen wir kurz unsere Ergebnisse zusammen, so folgt:

1. Abwesenheit von Chlor-Ionen in der Nahrung schliesst Salzsäurebildung nicht aus.

2. Anwesenheit von Chlor-Ionen in der Nahrung bewirkt nicht notwendig Salzsäuresekretion.

3. Auch nach Einführung chlorfreier Salzlösungen ist Chlornatrium im Magen nachzuweisen. Das zur Bildung von Salzsäure erforderliche Chlor wäre somit jederzeit vorhanden.

4. Das in den Magen übergetretene Chlornatrium stammt aus dem Blute.

5. Die Menge der gebildeten Säure entspricht nicht der Menge des eingeführten Chlors.

6. Das Ausbleiben der Salzsäuresekretion
   a) bei Einführung einer Traubenzuckerlösung in den leeren Magen,
   b) bei Einführung salzfreien Fleisches in den Magen eines salzfreien Tieres

ist für Köppes Theorie nicht beweisend.

7. Die Bildung von Bromwasserstoffsäure bei Einführung von Bromnatrium in den Magen eines salzfreien Tieres ist auch durch Drüsentätigkeit und Herkunft aus dem Blute erklärbar.

8. Die Undurchlässigkeit des Magens für Chlor-Ionen ist keineswegs bewiesen.

Wir kommen somit zu dem Schluss, dass die Köppesche Theorie die Magensaftsekretion nicht zu erklären vermag.

(Aus dem tierphysiol. Institut der Kgl. landw. Hochschule zu Berlin.)

Physiologische Studien über Vegetarismus[1]).

Von

Dr. **W. Caspari,**
Privatdozent an der landw. Hochschule.

(Hierzu Tafel IX—XI.)

Unter Vegetarismus oder Vegetarianismus versteht man eine Diätform, deren Bestandteile ausschliesslich aus dem Pflanzenreiche genommen sind. Aus der gewählten Definition geht hervor, dass die Ernährung der sogen. Laktovegetarier, welche lediglich den Fleischgenuss verwerfen, sonst aber eine gemischte animalisch-vegetabilische Nahrung zu sich nehmen, streng genommen nicht unter den Begriff des Vegetarismus fällt.

Leider muss ich es mir versagen, den Vegetarismus in seiner historischen Entwicklung zu zeigen, seine Bedeutung in ethischer, religiöser, ästhetischer, ethnologischer und wirtschaftlicher Beziehung zu würdigen. Wer sich für diese Gesichtspunkte interessiert, findet sie in trefflicher, nach Kräften unparteiischer Form in dem Werke Albu's über die vegetarische Diät auf Grund grossen literarischen Materials eingehend besprochen[2]). Hier soll die Frage nach der Wertigkeit der vegetarischen Diätform lediglich vom Standpunkte physiologischer Erwägungen erörtert werden, wobei man allerdings mit Albu übereinstimmen wird, dass gerade die physiologischen

1) Die vorliegende Arbeit erscheint über ein Jahr nach ihrer Fertigstellung. Es konnten daher diejenigen Veröffentlichungen auf dem einschlägigen Gebiete, welche im Verlaufe dieses Jahres publiziert worden sind, nicht mehr gebührend berücksichtigt werden. Es gilt dies besonders von der umfangreichen Arbeit Chittenden's. — Der Grund für die Verspätung der Publikation ist, dass vorliegende Abhandlung der hohen medizinischen Fakultät der Universität Berlin als Habilitationsschrift eingereicht war. Erst jetzt ist mir die Möglichkeit geworden, die Arbeit zu publizieren, nachdem mir die hohe medizinische Fakultät dieselbe zurückgegeben hat, ohne übrigens inzwischen von ihr Kenntnis zu nehmen.

2) Die vegetarische Diät. Georg Thieme, Leipzig 1902. Auch: Lafayette B. Mendel, Some historical aspects of vegetarianism. März 1904. S.-A.

Betrachtungen den Kernpunkt der ganzen Frage bedeuten, wenigstens für denjenigen, für den der Vegetarismus ein wissenschaftliches Ernährungsproblem ist, nicht ein Dogma oder eine Konsequenz mystischer Ethik. Diese hohe Bedeutung der physiologischen Betrachtungsweise einer Frage, welche eines gewissen aktuellen Interesses wohl nicht entbehrt, rechtfertigt eine eingehende erneute Untersuchung und Besprechung, zumal ich gerade in seinen physiologischen Auseinandersetzungen Albu nicht in allen Punkten folgen kann. Ich habe daher in den letzten Jahren einiges neue experimentelle Material zur Beurteilung der physiologischen Wertigkeit vegetarischer Kost gesammelt, das ich an dieser Stelle neben dem älteren kritisch für unsere Frage verwerten möchte. Es muss aber wohl gleich eingangs erwähnt werden, dass sich für die Beurteilung des Vegetarismus wesentlich neue Gesichtspunkte aus diesen Forschungen kaum ergeben haben; wenigstens der objektive und kritische Fachmann wird im allgemeinen nur eine weitere Bestätigung und festere Fundamentierung seiner Anschauungen finden. Anderseits haben aber die Versuche zu Ergebnissen geführt, welche, die Grenzen der Fragestellung überschreitend, allgemeinere biologische und ernährungsphysiologische Probleme beleuchten. Es sei mir daher gestattet, gegebenenfalls das Gebiet des eng begrenzten Themas zu verlassen und an der Hand der Versuchsresultate auch übergeordnete Fragen in das Bereich der Betrachtung zu ziehen.

Exakte experimentelle Untersuchungen über den Vegetarismus sind seit Beginn der modernen Stoffwechselphysiologie nur vereinzelt angestellt worden. Dennoch gestatteten dieselben ein richtiges Urteil, weil die Resultate der Versuche untereinander gut harmonierten. Doch sind meiner Meinung nach weitere Versuche auf diesem Gebiet nicht überflüssig. Bei einer Frage, die in solchem Masse wie die der Zuträglichkeit bezw. Durchführbarkeit rein vegetarischer Diät Gegenstand erregtester Diskussionen geworden ist, muss das wissenschaftliche Urteil sich auf mehr als fünf wohlgelungene Versuche stützen können. Vor allem aber wird nur dann die Beurteilung ein festes wissenschaftliches Fundament erhalten, wenn es gelingt, die auf dem Gebiete der Spezialfrage gesammelten Erfahrungen restlos aufgehen zu lassen in unseren allgemeinen biologischen Kenntnissen. Aus diesem Grunde aber ist es notwendig, mit dem Fortschritte unseres Wissens auf dem Gebiete der Ernährungsphysiologie und dem weiteren Ausbau der Untersuchungs-

methoden eine solche Spezialfrage von neuem zu prüfen, um zu sehen, ob in der Beurteilung derselben durch die geänderten allgemeinen Anschauungen und Forschungsmethoden neue Gesichtspunkte eintreten oder alte verschoben werden.

Es kommt hinzu, dass die vegetarische Ernährungsweise zu sehr vielen Ab- und Spielarten geführt hat, welche ganz zweifellos nicht mehr in das Gebiet einer normalen Ernährung gehören. Dennoch ist eine Untersuchung auch dieser Diätformen notwendig, um dem Einwande zu begegnen, dass die Wissenschaft über dieselben, ohne sie zu prüfen, den Stab breche, während die praktische Erfahrung nach Ansicht der Apostel solcher Diät deren Bekömmlichkeit und ausreichenden Nährwert erweist. Ein grösserer Abschnitt dieser Arbeit wird sich mit einem derartigen Versuche befassen.

Bevor ich zur Mitteilung meiner eigenen Versuche übergehe, möchte ich kurz die bisher vorliegende Literatur besprechen.

Die älteste wertvolle Untersuchung auf diesem Gebiete wurde von Karl v. Voit nach den Versuchen von Erwin Voit und Constantinidi publiziert[1]). Versuchsobjekt war ein 28jähriger Tapeziergehilfe, welcher bereits seit drei Jahren an rein vegetabilische Kost (Schwarzbrot, Obst und Öl) gewöhnt war. Der Versuch zerfiel in drei Perioden von insgesamt vierzehn Tagen Dauer. Die Nahrung bestand in den ersten beiden Perioden aus Pumpernickel, Grahambrot, Äpfeln, Feigen, Orangen, Datteln und Öl. In der dritten Periode wurden statt der Feigen Oliven gereicht. Es wurde in der ersten Periode im Mittel täglich mit der Nahrung eingeführt:

8,20 g N = 52,89 g Eiweiss (davon 46,53 g Reineiweiss),
21,06 „ Fett,
297,83 „ Zucker,
252,62 „ Stärke,
17,21 „ Zellulose;

in der zweiten Periode:

8,39 g N = 54,11 g Eiweiss (davon 48,47 g Reineiweiss),
16,47 „ Fett,
270,87 „ Zucker,
266,89 „ Stärkemehl,
16,20 „ Zellulose;

1) Zeitschr. f. Biol. Bd. 25 S. 232. 1889.

in der dritten Periode:

8,86 g N = 57,15 g Eiweiss (davon 47,39 g Reineiweiss),
32,80 „ Fett,
298,96 „ Zucker,
285,87 „ Stärke,
15,74 „ Zellulose;

im Mittel aller drei Versuchsreihen wurden demnach gegeben:

8,4 g N = 54,2 „ Eiweiss (davon 47 g Reineiweiss),
22,0 „ Fett,
289,0 „ Zucker } 557 g Kohlehydrate,
269,0 „ Stärkemehl }
16,0 „ Zellulose.

Bei einem Körpergewicht der Versuchsperson von 57 kg enthält diese Nahrung pro Kilogramm Körpergewicht 0,15 g N = 0,95 g Eiweiss, 0,38 g Fett und 9,77 g Kohlehydrat. Dies entspricht ca. 47 Kalorien physiologischer Nutzeffekt pro Kilogramm Körpergewicht nach den Rubner'schen Standardzahlen berechnet.

Faktisch ist dieser Wert, welcher auf einer mittleren Ausnutzung der gegebenen Nahrungsstoffe basiert, wohl ein etwas zu hoher wegen der schlechten Resorption der Nahrung. Es wurde nämlich im Kot ausgeschieden

vom Eiweiss	41 %
„ Fett	30 „
„ Stärkemehl und Zucker	3 „

Die Stickstoffbilanz pro Tag im Mittel des gesamten Versuchs gestaltete sich folgendermassen:

Stickstoff in der Nahrung	8,4 g
Davon im Kot	3,5 „
Also resorbiert	4,9 „
Im Harn	5,3 „
Bilanz	— 0,4 g.

Es wurde also bei diesem Vegetarier das Stickstoffgleichgewicht nicht völlig erreicht.

Dies muss uns nach unseren neueren Erfahrungen wundernehmen. Gibt es doch jetzt eine ganze Anzahl von Untersuchungen, bei denen Stickstoffgleichgewicht konstatiert werden konnte, selbst bei geringerer Kalorien- und Stickstoffzufuhr auf das Kilogramm Körpergewicht. Vielleicht aber erhalten wir bezüglich der Deutung

dieses Resultats einen Fingerzeig, wenn wir auf Grund der Angaben des Originals die Stickstoffbilanzen der einzelnen Perioden gesondert aufstellen.

	I. Periode	II. Periode	III. Periode
N der Nahrung	8,20	8,39	8,86
N im Kot . .	3,34	2,79	4,45
Resorbierter N	4,86	5,60	4,39
N im Harn. .	5,22	5,21	5,55
Bilanz . . .	— 0,36	+ 0,39	— 1,16

Es zeigt sich also, dass in der I. Periode noch ein geringer Eiweissverlust bestand, in der II. Periode jedoch das Stickstoffgleichgewicht erreicht wurde, wie man es bei einer derartigen Diät auf Grund unserer heutigen Erfahrungen besonders bei einem seit drei Jahren an stickstoffarme Kost gewöhnten Individuum wohl auch erwarten muss. Wenn in der III. Periode dann ein ziemlich erheblicher Stickstoffverlust zutage tritt, trotzdem die Stickstoffzufuhr in Periode III etwas höher ist als in Periode I und II, und trotzdem der Brennwert der Nahrung in der III. Periode, wie aus den Angaben Voit's leicht zu berechnen, denjenigen der beiden ersten Perioden zweifellos übertrifft, so ist dafür lediglich die schlechte Verdauung des stickstoffhaltigen Materials in der letzten Versuchsperiode verantwortlich zu machen. Worauf dieselbe zurückzuführen ist, wird aus der Arbeit nicht ersichtlich. Vielleicht sind die Oliven, vielleicht auch ein zufälliger Darmkatarrh dafür verantwortlich zu machen. Jedenfalls aber ist anzunehmen, dass sich der Vegetarier Voit's auch mit der geringen Menge von 4,39 g resorbiertem Stickstoff im Mittel pro Tag in Stickstoffgleichgewicht gesetzt haben würde, wenn der Versuch länger ausgedehnt worden wäre. Dafür spricht die deutliche Einschränkung des Eiweissumsatzes während der III. Periode, wie sie sich in der verringerten N-Ausscheidung im Harn kundgibt. Es wurden nämlich ausgeschieden im Harn der III. Periode:

Tag	N in g
1.	6,739
2.	5,875
3.	5,345
4.	4,780

Um zu sehen, ob ein an Pflanzenkost schon seit lange gewöhnter Vegetarianer dieselbe besser ausnutzt als ein Nicht-Vegetarier, unternahm Voit im Anschluss an den obenerwähnten Stoffwechselversuch

einen weiteren an dem 74 kg schweren Institutsdiener. Die Elemente und Zusammensetzung der Nahrung entsprachen durchaus der Versuchskost des Vegetariers. Die Stickstoffbilanz ergab im Durchschnitt pro Tag einen Verlust von 4,95 g N, am letzten Tage noch von 3,74 g N. Doch betrug die Versuchsdauer nur drei Tage, eine Zeit, welche für einen an reichliche Fleischnahrung gewöhnten Mann sicher zu kurz ist, um sich einer Kost anzupassen, wie sie diese Person während des Versuches genoss. Auch war der Brennwert der Nahrung zwar absolut dem in der Kost des Vegetariers annähernd gleich, doch kamen pro Quadratmeter Körperoberfläche auf den Vegetarier 1401, auf den Institutsdiener nur 1210 Kal. Wichtig ist jedoch, und um diesen Nachweis war es Voit in erster Linie zu tun, dass der an Pflanzenkost nicht gewöhnte Diener die Nahrungsstoffe aus den Vegetabilien im Darmkanal nicht schlechter auslaugte wie der an diese Diätform seit Jahren gewöhnte Vegetarier.

Gleichzeitig mit der Publikation von Voit und Constantinidi haben Kellner und Mori[1]) eine Abhandlung über die Ernährung des Japaners mitgeteilt, welche auch für die Frage des Vegetarismus von Interesse ist. Mori, ein 23 Jahre alter kräftiger Japaner mit einem Körpergewicht von 52 kg, stellte an sich selbst eine Reihe von Stoffwechselversuchen an, und zwar den ersten mit vegetabilischer Kost, wie dieselbe nach Angabe der Autoren von der überwiegenden Mehrzahl der fast ausnahmslos sehr armen, Landwirtschaft treibenden und niedere Arbeit verrichtenden Klassen des japanischen Landesinnern damals genossen wurde. Während der zweiten Versuchsreihe wurde eine gemischte Kost mit Fisch genossen, während der dritten gemischte Kost mit Fleisch und Milch. Der Versuch fiel zu ungunsten der vegetarischen Kostform aus. Dieselbe bestand aus

1. 1200 g einer Mischung aus zwei Teilen Reis und drei Teilen Gerste,
2. 400 g getrockneten Rettigs,
3. 300 g Wurzelgewächse (Kartoffeln usw.),
4. 150 g grünen Gemüses (Blätter von Brassica sinensis),
5. 100 g gesalzenen Rettigs,
6. 300 g Teeaufguss.

2, 3 und 4 wurden mit Miso genossen, dem bekannten, so überaus wohlschmeckenden und appetitreizenden Bohnenkäse der Japaner.

1) Untersuchungen über die Ernährung der Japaner. Zeitschr. f. Biologie Bd. 25 S. 102. 1889.

	Rohprotein g (N × 5,25)	Stickstofffreie Extraktstoffe	Fett	(Rohfaser)
Die vegetarische Kost enthielt	70,86	396,09	11,58	17,44
Die gemischte Kost mit Fisch enthielt	109,25	461,23	19,45	4,56
Die gemischte Kost mit Fleisch enthielt	122,96	409,68	20,76	6,03
Davon verdaut Prozent				
Bei der vegetarischen Kost	75,71	97,09		75,97
Bei der gemischten Kost mit Fisch. .	87,33	99,16		82,45
Bei der gemischten Kost mit Fleisch .	90,74	98,72		91,38

Bei der unverhältnismässig geringeren Nahrungs- und Eiweisszufuhr während der Reihe mit vegetarischer Kost kann es nicht verwundern, dass das Resultat für die vegetarische Diätform sehr ungünstig war. Denn während in den beiden Perioden mit gemischter Kost Stickstoffgleichgewicht bestand, verlor Mori noch in den letzten drei Tagen des sechstägigen Versuches mit vegetarischer Kost 1,16 g N pro Tag.

Dass die Nahrungszufuhr während dieses Versuchsabschnittes so gering war, lag aber nicht an einem Versuchsfehler, sondern war dadurch bedingt, dass die Versuchsperson grössere Mengen dieser Kost ohne Verdauungsstörungen nicht bewältigen konnte. Auch in den Versuchen von Kumagawa[1]) finden sich zwei Versuchsreihen mit ausschliesslich vegetarischer Kost, bei welchen allerdings auch Alkohol in Form von Bier genossen wurde. Versuchsperson war Kumagawa selbst. In der ersten Versuchsreihe bestand die tägliche Kost aus:

450 g Reis,
80 „ Miso,
250 „ Kohlrüben,
10 ccm Schoyu,
1000 „ Teeinfus,
800 „ Bier.

In dieser Nahrung waren enthalten:

44,212 g Eiweiss,
1,935 „ Fett,
441,766 „ Kohlehydrate.

1) Vergleichende Untersuchungen über die Ernährung mit gemischter und rein vegetabilischer Kost mit Berücksichtigung des Eiweissbedarfes. Virchow's Archiv Bd. 116 S. 370.

Das Eiweiss wurde verhältnismässig sehr gut, nämlich zu 81 %, resorbiert.

Kumagawa berechnet, dass in der resorbierten Nahrung 1940 Kalorien enthalten waren.

Der Versuch dauerte fünf Tage. In dieser Zeit wurden 51,41 g Eiweiss vom Körper verloren, also 10,28 g Eiweiss pro Tag. Eine Tendenz zur Einschränkung des Eiweissumsatzes, und allmähliche Annäherung an das Stickstoffgleichgewicht trat nicht hervor.

Der zweite Versuch mit rein vegetabilischer Kost schloss sich unmittelbar an den ersten an. Er dauerte neun Tage. In der täglichen Nahrung wurden genommen:

600 g Reis,
100 „ Miso,
300 „ Kohlrüben,
27,7 g Rohrzucker,
100 ccm Schoyu,
594,4 ccm Bier,
583,3 „ Teeinfus.

In dieser Nahrung waren enthalten:

54,706 g Eiweiss (N haltige Substanz),
2,52 „ Fett,
569,832 „ Kohlehydrate.

Kumagawa berechnet, dass von den 54,7 g N haltiger Substanz 50,5 g Eiweiss war. In dem Kot fand er 12,69 g = ca. 25 %.

Während des neuntägigen Versuches fand ein merklicher Eiweissansatz, im ganzen 36,78 g, statt. Doch ist derselbe zum Teil wohl auf den in dem ersten Versuche erfolgten Eiweissverlust zurückzuführen.

Den Brennwert der resorbierten Nahrung bezeichnet Kumagawa auf 2478 Kalorien pro Tag. Nach Rubner's Standardzahlen, in gewöhnlicher Weise angewandt, erhält man einen Brennwert von 2583,9 Kalorien[1]). Da das Körpergewicht Kumagawa's 48 kg betrug, wurde also ein Eiweissansatz erzielt bei rein vegetarischer

---

1) Bei der Berechnung der Standardzahlen hat Rubner bereits für den Verlust im Kot einen Abzug gemacht. Kumagawa dagegen multipliziert die resorbierten Nährstoffmengen mit den Rubner'schen Standardwerten. Eigentümlicherweise schlägt Rubner selbst in einer späteren Arbeit (Zeitschr. f. Biol. Bd. 42. 1902) denselben Weg ein.

Kost, welches pro Kilogramm Körpergewicht enthielt: 0,18 g N und 53,8 Kalorien.

Ein weiterer Versuch, welcher sich eingehend mit dem Stoffwechsel des Vegetariers beschäftigte, wurde von Rumpf und Schumm im Jahre 1900 publiziert[1]). Der Versuch wurde an einem 19jährigen Jüngling von etwa 63 kg Körpergewicht ausgeführt. Die Nahrung bestand aus Datteln, Quäkeroats, Reis, Zucker, Walnüssen, Grahambrot und Äpfeln. Oats und Reis wurden in gekochtem Zustande gegessen, die Äpfel teils roh, teils gekocht. Der Versuch erstreckte sich über acht Tage. Die tägliche Einnahme in der Nahrung betrug:

11,82 g N =	73,88 g Eiweiss	= ca.	303 Kal. (nach Rubner berechnet)
	698,21 „ Kohlehydrate	=	2863 „
	28,64 „ Fett	=	266 „
		Summa	3432 Kal.

Die Stickstoffbilanz pro Tag im Mittel gestaltete sich folgendermassen:

in der Nahrung	11,82 g N	
im Kot	4,01 „ „	= 34 %
resorbiert	7,81 g N	
im Harn	6,91 „ „	
Bilanz +	0,9 g N.	

Die Nahrung enthielt also pro Kilogramm Körpergewicht 0,19 g N und ca. 54 Kal., war also ziemlich stickstoffarm, aber von sehr hohem Brennwerte. Obgleich nun 33,93 % der stickstoffhaltigen Nährstoffe und 26,47 % des Fettes im Kot den Körper verliessen, hat sich der jugendliche Vegetarier nicht nur in Stickstoffgleichgewicht gesetzt, sondern wahrscheinlich noch Eiweisssubstanz im Körper zurückbehalten. Es war auch während der acht Tage des Versuchs eine Gewichtszunahme von 1,7 kg zu konstatieren.

Voit sowohl wie Rumpf und Schumm schliessen aus ihren Versuchen, dass zwar ein Auskommen mit rein vegetarischer Kost möglich ist, dass diese Diätform jedoch unzweckmässig sei wegen des grossen Volumens der zur Ernährung notwendigen Speisen und der schlechten Ausnutzbarkeit der zellulosehaltigen Nahrungsmittel.

Ferner gehören in die Reihe der Versuche mit streng vegetari-

1) Zeitschr. f. Biol. Bd. 39 S. 153. 1900.

scher Diät mehrere Versuchsreihen von Taniguti[1]). Es handelt sich um Stoffwechselversuche, welche im Jahre 1892 in grossem Umfange in Japan angestellt wurden zur Entscheidung der Frage, ob die Kost der japanischen Armee zu ändern sei. Bei dieser Gelegenheit hat auch Taniguti Stoffwechselversuche mit verschiedenen Kostsätzen ausgeführt. Der erste dieser Versuche fällt streng genommen nicht in den Rahmen unserer Betrachtungen, weil zu dem Reis, welcher mehrere Tage lang als alleiniges Nährmaterial gereicht wurde, Liebig'sches Fleischextrakt als Geschmackskorrigens hinzugefügt wurde. Wir werden hierauf später einzugehen Gelegenheit haben.

In der zweiten Versuchsreihe wurde Reis gereicht, der Versuchsperson aber gestattet, beliebige Zukost pflanzlicher Stoffe zu wählen. Die bei dieser Kost aufgenommene Nahrung hatte einen Brennwert von 2777—2790 Kalorien. Es wurden eingeführt:

im Durchschnitt der ersten zehn Tage 9,63 g N
davon erschienen im Kot 1,94 „ „ = 20,15 %
also wurden resorbiert 7,69 g N
ausgeschieden im Harn 9,24 „ „
Bilanz — 1,55 g N.

Im Mittel der zweiten zehn Tage wurden in der Nahrung gegeben:
10,52 g N
davon im Kot 2,13 „ „ = 20,26 %,
also resorbiert 8,39 g N
im Harn 8,36 „ „
Bilanz + 0,03 g N.

Während der dritten zehn Tage in der Nahrung:
10,35 g N
im Kot 1,89 „ „ = 18,27 %
resorbiert 8,46 g N
im Harn 7,25 „ „
Bilanz + 1,21 g N.

Während der letzten fünf Tage in der Nahrung pro Tag:
10,41 g N
im Kot 2,39 „ „ = 22,96 %
resorbiert 8,02 g N
im Harn 7,52 „ „
Bilanz + 0,5 g N.

---

1) Einige Versuche mit der japanischen Reiskost. Arbeit aus der kaiserl. japan. militärärztl. Lehranstalt Bd. 1. Tokio 1892. Zit. nach Maly 1892 Bd. 22.

Auffallend ist an diesen Versuchen, ähnlich wie an denen Kumagawa's, die gute Ausnutzung des Nährmaterials, welche zweifellos auf die zweckmässige Wahl und Zubereitung der Kost zurückzuführen ist. Wichtig ferner, dass die Versuchsperson, welche vermutlich, wie alle Japaner der niederen Klassen, an vorwiegend (nicht ausschliesslich) vegetabilische Kost gewohnt war, während der ersten zehn Tage mit einer Nahrung von 9,6 g Stickstoff pro Tag bei verhältnismässig guter Ausnutzung und wahrscheinlich ausreichendem Brennwerte der Nahrung sich nicht in Stickstoffgleichgewicht setzen konnte.

Über einen weiteren Stoffwechselversuch an einem Vegetarier hat Hauer[1]) berichtet. Die Versuchsperson war eine 36jähriger Herr, welcher seit zwei Jahren während der warmen Jahreszeit als strenger Rohkostvegetarier lebte; im Winter jedoch nahm er seine Speisen aus einer vegetarischen Küche. Der Versuch erstreckte sich von 7. bis 12. Juli 1902, dauerte also sechs Tage. Die Nahrung bestand aus Brot, Kirschen, Erdbeeren, Feigen, Datteln, Mandeln, Wallnüssen und Paranüssen sowie Nussin, einer Art Pflanzenbutter, welche aus Erdnüssen gewonnen wird. Aus diesen Elementen wählte die Versuchsperson täglich selbständig die Bestandteile ihrer Mahlzeiten; auch war die Menge der aufzunehmenden Nahrung in ihr Belieben gestellt. Die Aufnahme an den einzelnen Tagen differierte nicht unerheblich. Im Mittel wurden pro Tag genommen: 10,95 g N, 112 g Fett und ca. 2789 Kal. Bei einem Körpergewicht von 64,93 kg kommen so auf das Kilogramm Körpergewicht 0,16 g N, 1,7 g Fett und 42,9 Kal. Aus der Bilanz geht mit Sicherheit hervor, dass Stickstoffgleichgewicht bestand, doch war die Ausnutzung der Kost eine recht schlechte. Es fanden sich im Kot 38 % des Nahrungsstickstoffs sowie 22 % des Fettes.

Auch aus diesem Versuche geht jedenfalls klar hervor, dass eine in jeder Beziehung ausreichende Ernährung mit vegetarischer Diät durchaus möglich ist.

Schliesslich ist noch ein Versuch von Albu[2]) zu erwähnen, doch spielen hier wohl schon pathologische Elemente mit; denn die Versuchsperson, eine 42jährige Studentin der Medizin, besass nur ein Körpergewicht von 37,5 kg bei einer Grösse von 1,3 m. Diese

1) Inaug.-Diss. Freiburg i. B. 1903.

2) Zeitschr. f. klin. Med. Bd. 23 S. 1.

Dame nährte sich bereits seit sechs Jahren streng vegetarisch. Albu stellte nun bei ihr mit frei gewählter Nahrung einen Stoffwechselversuch von fünftägiger Dauer an. Die Elemente der Kost waren: Grahambrot, Äpfel, Pflaumen, Trauben, Nüsse, Datteln und Salat. Die Versuchsperson nahm täglich im Durchschnitt auf:

5,46 g N = 34,12 g Eiweiss,
36,44 g Fett,
und ca. 225,0 g Kohlehydrate.

Dies ergibt nach Albu's Berechnung einen Brennwert der Nahrung von 1400 Kalorien oder ca. 37 Kalorien pro Kilogramm Körpergewicht. Trotzdem 32,79 % des Nahrungsstickstoffes im Kot ausgeschieden wurden und augenscheinlich infolge der schlechten Verdaulichkeit der Nüsse nur 65 % des Fettes resorbiert wurden, setzte sich die Versuchsperson Albu's in Stickstoffgleichgewicht. Die schlechte Resorption des Nahrung bei der seit sechs Jahren an vegetarische Diät gewohnten Dame ist neben den Voit'schen Versuchen ein weiterer Beweis, dass eine Gewöhnung an vegetabilische Kost nicht eintritt in dem Sinne, dass sich ein weitergehendes Ausnutzungsvermögen für Vegetabilien bei einem seit längerer Zeit vegetarisch lebenden Menschen eintritt ausbildet.

Hiermit ist, soweit mir bekannt, die einschlägige wissenschaftliche Literatur erschöpft. Ausserordentlich zahlreich sind Stoffwechselversuche, bei denen eine laktovegetabilische Kost gewöhnlich unter Hinzufügung von Eiern, manchmal mit Gaben von Alkohol, zur Anwendung kamen. Die betreffenden Autoren benutzten aber diese Diätform lediglich, um andere Fragestellungen, etwa die nach dem Eiweissminimum u. dergl., zu entscheiden. An sich bietet die Frage nach der Durchführbarkeit bezw. Bekömmlichkeit einer fleischfreien, sonst aber ausreichenden Kost, bei welcher besonders auch tierisches Eiweiss in nicht zu spärlicher und den Verdauungssäften leicht zugänglicher Form zur Anwendung gelangt, insofern kein Interesse, als man an der Möglichkeit ausreichender Ernährung mittelst derartiger Kost nie gezweifelt hat. Praktisch erscheint es höchst zweifelhaft, ob man berechtigt ist, Leute, welche etwa aus ethischen Gründen kein Fleisch geniessen, als Vegetarier zu bezeichnen. Dagegen ist es ein anderer Umstand, welcher vom physiologischen Standpunkt die vergleichende Beurteilung vegetarischer Kost und gewöhnlicher gemischter Nahrung erschwert; das ist die Enthaltsamkeit der Vegetarier von Reizmitteln, wie Alkohol und

Nikotin. An sich hat die Abstinenz mit der pflanzlichen Ernährung ja gar nichts zu tun. Auch sind nicht alle strengen Vegetarier Abstinenzler. Die meisten Vegetarier jedoch enthalten sich des Alkohols und sind dadurch vielleicht im Vorteil gegen viele Gemischtkostler, welche Alkohol und Tabak, von bösartigeren Reizmitteln ganz abgesehen, gar zu oft in schädlichem Übermasse geniessen.

Eigene Versuche.

Der erste von mir selbst angestellte Versuch wurde in Gemeinschaft mit Herrn Dr. Glässner ausgeführt und ist bereits von uns publiziert worden[1]). Es sei mir gestattet, die Daten dieses Versuches kurz zu rekapitulieren, soweit sie für die spätere allgemeine Diskussion von Wichtigkeit sind. Der Versuch wurde dank der gütigen Erlaubnis des Herrn Geh. Rat Professor Dr. Ewald in strenger Klausur in der Isolierstation des Kaiserin Augusta-Hospitals zu Berlin ausgeführt. Die Versuchspersonen waren der 49jährige Ingenieur Herr K. und seine 48jährige Gattin. Herr K. war von mittlerer Grösse, gutem Ernährungszustand[2]) und grosser Lebhaftigkeit, seine Gattin von grazilem Körperbau, gut ausgebildetem Fettpolster, schwächlich entwickelter Muskulatur und sehr blasser Haut- und Gesichtsfarbe. Herr Geh. Rat Ewald hatte die Güte, einen genauen Status der Versuchspersonen aufzunehmen, welcher in der zitierten Arbeit veröffentlicht ist. Herr K. lebte seit dem Jahre 1883 von laktovegetabilischer Kost, welche aus gekochten Pflanzenspeisen, Eiern, Milch, Käse und Butter bestand. Seit dem Jahre 1891 ernährte er sich rein vegetarisch, und zwar schon seit dieser Zeit annähernd in gleicher Weise wie während des Versuches. Er war kein prinzipieller Abstinenzler, sondern hat zuweilen, wenn auch nur in sehr geringen Mengen, Alkohol genossen.

Frau K. lebte bis zum Jahre 1899 von gemischter Kost und ging dann unmittelbar zu einer rein vegetabilischen Diät über, wie sie während des Versuches innegehalten wurde. Sie soll, bevor sie sich der vegetarischen Ernährungsweise zuwandte, stets sehr elend und schwächlich gewesen sein. Besonders litt sie an Obstipation. Bereits im Alter von 25 Jahren soll ihr Haar völlig gebleicht gewesen sein.

---

1) Ein Stoffwechselversuch an Vegetarianern. Zeitschr. f. diätet. u. physik. Therapie Bd. 7 H. 9. 1903/1904.

2) Vgl. Tafel X.

Im allgemeinen machte Herr K. einen frischeren und agileren Eindruck als seine Gattin, die stets müde und abgespannt aussah und auch körperlichen Anstrengungen nicht in dem gleichem Masse gewachsen war.

Während der Klausur wurde dem Ehepaar körperliche Bewegung in Form von Turnübungen gestattet, die indes nur von Herrn K. in ausgiebiger Weise durchgeführt wurden. Doch gibt Herr K. an, sonst stärkere körperliche Arbeit geleistet zu haben.

Der Versuch erstreckte sich bei beiden Personen über je fünf Tage, vom 5. bis 9. Februar 1902. Die Nahrung bestand für Herrn K. aus einem Infus getrockneter Gerste, den er sich täglich mit 400 ccm Wasser bereitete und samt dem Satze zu sich nahm, ferner aus Zucker, Datteln, Haselnüssen, Leinöl und Kartoffeln, die in der Schale gekocht gereicht wurden. Die Schalen wurden nicht mit gegessen. Da im weiteren Verlauf des Versuches das Bedürfnis nach Abwechslung der Speisen hervortrat, wurde der Diätzettel durch Zulage von getrockneten Karotten, welche mit Wasser gekocht wurden, erweitert. Nach Behauptung des Herrn K. trat dieses Bedürfnis im Gegensatze zu der Ernährung vor der Klausur deshalb ein, weil die Qualität der Kartoffeln zu wünschen übrig liess.

Die Ernährung der Frau K. unterschied sich von der ihres Gatten dadurch, dass sie Zucker verschmähte, Da sie die Einförmigkeit der Kost stärker als ihr Gatte empfand, so wurde dieselbe im Verlauf des Versuches durch Zulage von Cakes und Karotten behoben. Die Aufnahme von Kochsalz und Wasser war für beide Personen eine unbeschränkte. Es wurde den Versuchspersonen gestattet, von der Nahrung täglich nach Wohlbehagen zu nehmen. Die Menge der einzelnen aufgenommenen Nahrungsbestandteile wurde dann später festgestellt. Es ergaben sich allerdings an den einzelnen Tagen Schwankungen in Stickstoff-, Kalorien- und Fettzufuhr. Im ganzen nahm Herr K. während der Versuchsdauer zu sich:

	N	Fett	Kalorien (durch direkte Verbrennung festgestellt)
	39,15 g	1099,1 g	22796
also pro Tag im Durchschnitt			
	7,83 g	219,8 g	4559.

Frau K.:	N	Fett	Kalorien
	26,64 g	495 g	13575
mithin pro Tag im Durchschnitt:			
	5,33 g	99 g	2715.

Die Kost enthielt für Herrn K. bei einem mittleren Körpergewicht von 68,8 kg im Mittel pro Tag und Kilogramm 0,114 g Stickstoff und 66 Kalorien, für Frau K. bei einem mittleren Gewicht von 58,0 kg 0,092 g Stickstoff und 47 Kalorien. Es wurden ausgenutzt von

	Herrn K.	Frau K.
von dem gegebenen Stickstoff	73,79 %	75,79 %
vom Fett	88,49 „	89,92 „
von den Kalorien	91,11 „	92,93 „

Die Stickstoffbilanz ergab für Herrn K. während der gesamten fünf Tage einen Ansatz von 5,20 g Stickstoff = ca. 156 g Muskelfleisch; für Frau K. einen Gesamtansatz von 2,45 g Stickstoff = ca. 73,5 g Fleisch. Das Körpergewicht stieg während der fünf Versuchstage bei Herrn K. um 0,8, bei Frau K. um 0,9 kg. Auf weitere Einzelheiten dieses Versuches werde ich noch im weiteren Verlauf der Besprechung zurückgreifen.

Der zweite meiner Versuche fällt in den Rahmen der Abarten der vegetarischen Diät und kann als ein allgemeingültiges Paradigma dieser Kost nicht verwendet werden, da durch die Art der Ernährung unphysiologische Bedingungen gesetzt und unphysiologische Resultate erzielt wurden.

Die Person, welche auf ihr eigenes dringendes Ersuchen von mir in einen Stoffwechselversuch genommen wurde, war der 50jährige Hauptmann d. L. H. Über die Anamnese und die Gesichtspunkte, von welchen ausgehend dieser Herr sich den Unannehmlichkeiten des Versuches unterwarf, gibt nachfolgender Bericht Aufschluss. Ich halte mich für verpflichtet, denselben der Öffentlichkeit zu übergeben, weil Herr H. dies als berechtigtes Äquivalent seines opfermütigen und ausserordentlich geduldigen Entgegenkommens mir zur „ausdrücklichen Bedingung“ gemacht hatte, weil ferner dieser Bericht genaue und, wie ich den Charakter des Herrn kennen gelernt habe, zweifellos wahrheitsgetreue anamnestische Daten enthält, schliesslich weil er den ungewöhnlichen Ideengang, die Sinnes- und Denkweise dieses Herrn anschaulicher schildert, als ich es durch eine genaue Beschreibung zu tun vermöchte.

Krankheitsbericht des Hauptmanns H.

Geboren am 14. Juli 1853.

Vom 7.—14. Jahre: schwächlich, zart; Herzhypertrophie, darf nicht laufen, nicht kalt baden; Lebertrankur; mache beinah jedes Jahr ein heftiges gastrisches

Fieber durch; auch einmal Gelenkrheumatismus; komme erst mit acht Jahren zur Schule.

Vom 14. Jahre ab: darf jetzt laufen und schwimmen.

Vom 20. Jahre ab: wegen Nasenpolypen mehrmonatige Kur durch in die Nasengänge eingezogene Tannintampons.

Vom 21. Jahre ab: einjährig gedient; anfangs bei Laufschritt heftiges Herzklopfen, dieses verliert sich aber allmählich ganz, und ich gedeihe während des Dienstjahres vortrefflich, so dass ich die Manöverstrapazen ganz ausgezeichnet (mit vollständigem, vorschriftsmässigem Mannschaftsgepäck) ertrage.

Vom 22.—24. Jahre ab: sehr gesund und kräftig.

Im 24. Jahre: erster Tripper, dauert beinahe ein ganzes Jahr.

Im 27. Jahre: zweiter Tripper; im Anschlusse an denselben ein sehr heftiger Blasenkatarrh, kompliziert mit angeschwollener Prostata.

Von da ab litt ich dauernd an Strikturen, welche sich erst in der Mitte der neunziger Jahre etwas besserten und erst jetzt im Dezember 1902 vollständig geschwunden sind.

Im 30. Jahre (1883): wegen Nasenpolypen operiert.

Im 32. Jahre (1885): starke Gelbsucht; „Hexenschuss“; Gicht in den Händen.

Im 34. Jahre (1887): Rheumatismus im Rücken und im rechten Oberarme.

Im 34.—37. Jahre (1887—1890): sehr reichliche Hotel- und Restaurantkost.

Vom 37.—38. Jahre (1890/1891): wegen Nasenpolypen operiert; infolge des bei dieser Operation angewendeten Kokains entstehen bis auf das Zahnfleisch hindurchgehende, bösartige Geschwüre auf der Oberlippe; Barthaare fallen aus; Anschwellung des ganzen Gesichtes bis inkl. der Augen. Kurze Zeit darauf: Regenbogenhautentzündung. Deswegen sechs Wochen in der Augenklinik; hier Atropinbehandlung und gleichzeitig subkutane Quecksilbereinspritzung ins Gesäss. Einige Zeit darauf: Bart- und Kopfhaare fallen aus, die Zähne werden locker, und einige Zähne fallen aus. Alsdann einige Zeit später: Hodenwasserbruch; derselbe wird operiert (punktiert). In Wildungen Kur wegen Nierenleiden durchgemacht.

Vom 39. Jahre (1892): sehr elend; körperlich und geistig gebrochen; schwere chronische Hartleibigkeit verbunden mit Hämorrhoidalknoten am After. Ich führte damals keine sitzende Lebensweise, sondern war den ganzen Tag in Bewegung. Behandlung: Schweizer Pillen, verschiedene Abführmittel, Klistiere; alles hilft nicht, im Gegenteil, es wird immer schlimmer. Herbst 1892: im Manöver heftiger Magenkatarrh.

Ende 1892: Das Leiden wird unerträglich.

Dezember 1892 bis Herbst 1902: Zum Vegetarismus übergegangen. Besiegung der Hartleibigkeit. Die Hämorrhoidalknoten verschwinden allmählich, kehren aber dann und wann vorübergehend wieder, aber immer gradatim schwächer. Wiederaufleben. Es treten in halbjährigen Intervallen mehrwöchige heftige Körperreinigungskrisen, eine im Sommer und eine im Winter, ein, in welchen dicke, sehr stinkende, zähe, klebrige Schleimknoten und Schleimfäden aus dem Darm ausgeschieden werden, ferner Nierensteinkolik und Ausscheidung grosser Mengen harnsaurer Salze; auch starke, sehr stinkende Nachtschweisse; eine eitrige Masse sondert sich aus den Augenwinkeln ab. Nach den Krisen: jedes-

mal gradatim erhöhtes Wohlbefinden. Werde immer kräftiger, kann schliesslich grosse Märsche (50—100 km) und Dauerlauf von einer deutschen Meile machen; hielt in den fünf letzten Jahren vier 8—14 tägige Hunger- und Durst-Perioden durch. Vorletzte Krisis (Sommerkrisis) August 1902.

Mein der Klausur vorhergehendes vorbereitendes Training zur ausschliesslichen Ernährung mit rohen frischen und getrockneten Früchten mit Ausschluss von Nüssen.

Ferner einige Mitteilungen aus meinen Erfahrungen über das Wesen der sogenannten Reinigungs- und Heilkrisen und aus meinen Erfahrungen über medizinische Therapie und über giftfreie Heilweise.

Nachdem ich in den letzten fünf Jahren meiner zehnjährigen vegetarischen alkohollosen Lebensführung den Schwerpunkt meiner Ernährung auf rohe frische und getrocknete Früchte und Nüsse gelegt, dazwischen durch aber auch gekochte, gebratene und gebackene vegetarische Speisen sowie Milch und Butterbrot in meine Nahrung einbezogen hatte, fasste ich den Entschluss, behufs gänzlicher Beseitigung und radikaler Ausheilung des letzten Restes meiner alten chronischen Übel, nunmehr eine längere Zeit, und zwar vom 1. Mai 1902 ab, ganz ausschliesslich nur von rohen frischen und getrockneten Früchten mit gänzlichem Ausschlusse von Nüssen zu leben, die getrockneten Früchte zu denjenigen Jahreszeit-Perioden mit einbeziehend, in welchen frisches Obst rar und teuer wird und zu wenig Abwechselung bietet, und ferner auch aus dem Grunde, um vom volkswirtschaftlichen Standpunkte aus zu erproben, ob es mir möglich sein würde, meinen Lebensunterhalt mit dieser Nahrung mit einer Durchschnittssumme von möglichst nur 50 Pfennig pro Tag zu bestreiten.

Ich lebte also vom 1. Mai 1902 ab wie folgt:

Vom 1. Mai bis Mitte Juni täglich: Sechs Apfelsinen à 6—8 Pfennig per Stück; dazu, um Abwechslung zu haben, einige Bündchen (für 5—10 Pfennig) Radieschen und eine Handvoll getrockneter Feigen à 30 Pfennig per Pfund oder eine Handvoll Datteln à 35 Pfennig per Pfund.

Von Mitte Juni bis Anfang Juli täglich: Zwei Pfund Kirschen oder sechs Apfelsinen. — An denjenigen Tagen, an welchen ich Apfelsinen ass, nahm ich Feigen oder Datteln, auch hier und da Radieschen oder Rettich hinzu.

Von Anfang Juli bis Anfang August täglich: Zwei Pfund Kirschen oder zwei Pfund Trauben ohne Zusatz von getrockneten Früchten.

Während dieser Periode dieses mich zur Klausur vorbereitenden Ernährungs-Trainings machte ich vom 1. Mai bis 1. August als Hospitant an hiesiger Universität einen schnell vorwärtsschreitenden, sehr anstrengenden Kursus im Griechischen mit, der mich, wollte ich den gestellten hohen Anforderungen genügen und ein befriedigendes Zeugnis erringen, in täglicher angestrengter zwölf- und mehrstündiger geistiger Arbeit in Anspruch nahm. Ausserdem machte ich zwei- bis dreimal in der Woche an Tagen, an welchen kein griechischer Kursus stattfand, grosse Spaziergänge (von 5 Uhr morgens bis gegen 8 Uhr abends) von ca. 25 bis 30 km, was ja nicht viel ist, aber doch eine gewisse Anstrengung bedeutet,

da ich gleichzeitig während des Gehens griechische Syntax, Deklinations- und Konjugations-Tabellen repitierte und die griechischen unregelmässigen Verben memorierte und durchkonjugierte. Ich erwähne dies alles hier lediglich nur, um darzutun, dass ich in dieser Periode bei dieser Kost in jeder Beziehung angestrengt tätig war.

Anfang August brach wieder eine sogenannte Reinigungs- und Heilkrisis über mich herein, in welcher der Darm an einigen Tagen erst flüssige, sehr stinkende Schleimmassen entleerte (also gleichsam eine Art von Selbstklistierung des Darmes stattfand) und alsdann alte, sehr stinkende zähe Schleimknoten, klebrig wie Tischlerleim, und fingerlange, zähe, klebrige Schleimfäden absonderte (was auch in allen vorhergehenden Krisen, aber nicht so energisch wie dieses Mal, der Fall war) und sehr trüber und sehr stinkender Harn entleert wurde, sowie eiterartige Absonderungen aus den innern Augenwinkeln stattfanden.

Ich schalte hier ein, dass solche Reinigungs- und Heilkrisen beim Übergange zur vegetarischen Diät eintreten und je nach dem Zustande des betreffenden Individuums eventuell viele Jahre hindurch in ziemlich regelmässigen Intervallen sich wiederholen, wie dies bei mir der Fall gewesen ist. Ich komme weiter unten noch näher auf das Wesen dieser Krisen zurück.

Diese August-Krisis war bedeutend heftiger, aber auch in ihrem Reinigungseffekte bedeutend ergiebiger als alle Krisen, welche ich in den vorhergehenden Jahren durchmachte, und ich war mehrere Tage recht schwach und elend.

Um die Heftigkeit dieser Krisis abzuschwächen, ass ich von nun an in Zeiträumen von ein bis drei Tagen, je nach meinem Befinden, abwechselnd dazwischen auch mittags oder abends gekochte vegetarische Speisen und auf Spaziergängen, welche den ganzen Tag dauerten, Milch und Butterbrot, so dass ich also abwechselnd wieder einige Tage ausschliesslich von zwei Pfund Trauben lebte und dann wieder einige Tage lang mittags oder abends gekochte vegetarische Speisen ass. Als dann die Krisis allmählich vorüberging, lebte ich wieder in Perioden von 6—8 Tagen ausschliesslich nur von zwei Pfund Trauben täglich und ass dann wieder einige Tage lang gekochte vegetarische Speisen oder Milch und Butterbrot auf Märschen und so abwechselnd bis zum 21. Oktober, an welchem Tage ich die Klausur antrat.

Ich erwähne hier noch, dass ich in sämtlichen Krisen, also auch bei gekochter vegetarischer Kost, immer vorübergehend sehr stark abmagerte, doch holte ich den erlittenen Gewichtsverlust nach überstandener Krisis, qualitativ bei derselben Diät bleibend, quantitativ mich dem wachsenden Appetite anpassend, immer bald wieder ein. Dass ich in der durch Rohfruchtdiät entstandenen Augustkrisis behufs Abschwächung deren Heftigkeit qualitativ nicht genau bei derselben Diätform blieb, war eine Inkonsequenz meinerseits und ein therapeutischer Fehler, denn durch den geschilderten, wenn auch nur teilweisen Diätwechsel wurde die Krisis unterbrochen und konnte sich nicht gänzlich austoben und die folgende Krisis, welche mich dann einige Monate später während der Klausur befiel, wurde infolgedessen um so heftiger.

Dass das oben geschilderte, der Klausur vorhergehende Training meinem Körper schon einen gewissen Grad von Anpassung an diese Diät von täglich zwei Pfund rohen frischen Früchten verliehen hatte, geht aus folgendem hervor:

Nachdem ich in der Klausur vom 21. Oktober ab vierzehn Tage lang von diesen zwei Pfund frischen Früchten pro Tag (meistens Trauben, aber dazwischen auch einige Male Äpfel) gelebt und während dieser Zeit durchschnittlich zwölf Stunden täglich, alles schriftlich arbeitend, studiert und abends zwischen 9 und 10 Uhr mich tüchtig im Dauerlauf trainiert und dazu häufig am Tage, oft alle Stunden, um mich auch körperlich zu betätigen und das viele Sitzen zu unterbrechen, je dreissig Kniebeugen und dreissig Hantelübungen mit Sandow's Federhanteln gemacht hatte, machte ich am 2. und 3. Nov. abends einen Dauerlauf von einer deutschen Meile, ohne hinterher müde, geschweige ausgepumpt zu sein, wobei zu dem noch zu berücksichtigen ist, dass ich dieses Jahr fünfzig Jahre alt werde.

Ich brauche wohl nicht zu versichern, dass ich Vorstehendes nicht niederschrieb, um mit meinen Leistungen in körperlicher und geistiger Beziehung zu prahlen, sondern ganz lediglich nur, um darzutun, welch ziemlich hohen Grad von Ausdauer und Leistungsfähigkeit selbst ein früher schwer chronischkrank gewesener Mensch (siehe meinen Krankheitsbericht) durch die vegetarische alkohollose Lebensweise zu erlangen vermag.

Den abendlichen Dauerlauf musste ich leider vom 4. November ab aufgeben, weil ein Schmerz im Gelenke meines rechten Fusses entstand, welcher vor einigen Jahren einmal verstaucht war; andernfalls würde ich den Dauerlauf ganz bestimmt noch bis gegen den 8. Dezember haben leisten können, um welche Zeit die Krisis, welche mich während der Klausur heimsuchte, heftiger zu werden anfing, und daher Schonung geboten war. Durch das Eintreten des oben erwähnten Fussübels wurde mein Befinden während der weitern Klausurzeit recht ungünstig beeinflusst, denn ich musste den Fuss über drei Wochen lang vollständig schonen und daher den ganzen Tag sitzend zubringen, durch welche sitzende Lebensweise, ohne jede unterbrechende Bewegung, die Verdauung sehr erschwert wurde, indem der Kot sich zu harten Knoten zusammenballte, die nur mit grosser Beschwerde und Anstrengung entleert werden konnten. Auch die lange Freiheitsentziehung wirkte, obwohl sie ja eine freiwillige war, auf die Dauer ungünstig auf mich ein und ebenso das ewige Einerlei des Klausurmilieus.

Dass mich gerade während der Klausurzeit nochmals eine so überaus heftige Krisis befallen würde, hatte ich allerdings nicht geahnt, sondern ich hatte geglaubt, nachdem ich im August noch solch eine heftige Krisis durchgemacht hatte, nun durch alles hindurch und durch das oben geschilderte Ernährungstraining auch genugsam an die ausschliessliche Zweipfundfruchtnahrung angepasst zu sein, sonst würde ich die Klausur noch um ein halbes Jahr verschoben haben, um mir vorher noch eine grössere Anpassung anzueignen. (Um vollständig zu berichten, schalte ich hier noch ein, dass ich im Laufe der letzten fünf Jahre vier Hunger- und Durstperioden von 8—14 Tagen zur Übung im Hungern und Dürsten bei starker körperlicher Anstrengung machte.)

Trotzdem es nun wirklich keine Annehmlichkeit war, während einer Klausur derartiges durchzumachen, freue ich mich aber doch, dass mich eine solche Krisis gerade während der Klausur befiel, weil leider das Wesen dieser Reinigungs- und Heilkrisen, weil dabei eine Abmagerung und ein Kräfteverfall, aber alles nur **vorübergehend**, eintritt, vielfach verkannt und unrichtig aufgefasst wird,

da nur derjenige über diesen schon mit dem Übergange zur vegetarischen gekochten Diät, aber in noch schärfer akzentuierter Weise mit dem Übergange zur vegetarischen Rohkostdiät unzertrennlich und naturnotwendig verbundenen Wandlungsprozess im menschlichen Körper vollständig und eingehend unterrichtet sein kann, der dies alles am eigenen Körper in einer Reihe von Jahren kennen gelernt hat.

Der Vegetarismus erschliesst ja eben neue hochwertvolle Lichtblicke in das Wesen der Physiologie und in die Therapie der Zukunft und ist daher eine Fundgrube neuer bahnbrechender Wahrheiten, die auf das eingehendste studiert zu werden verdienen, und dies kann man nicht besser und eingehender, als wenn man dies alles selbst am eigenen Körper durch ununterbrochene Selbstbeobachtung (z. B. regelmässige Beobachtung und Untersuchung des Kotes und des Harns) kennen lernt.

Durch den Umstand nun, dass diese Krisis mich gerade während der Klausur befiel, wurde den mich beobachtenden Herren Gelegenheit geboten, das Wesen einer solchen Reinigungs- und Heilkrisis an mir zu studieren, und ich vertraue fest auf deren Gerechtigkeitssinn, dass sie, da ja, wie gesagt, solche Krisisumstände, um sie ganz bis auf den tiefinnersten Grund richtig zu verstehen, selbst am eigenen Körper durchgemacht und durchempfunden werden müssen, auch auf meine Aufschlüsse darüber einigen Wert legen, meinen Worten, die ehrlich und wahr sind, Glauben schenken und aus allen diesem die richtigen Schlüsse ziehen werden.

Diese Reinigungs- (Ausscheidungs-, Absonderungs-, Abstossung-, Entgiftungs-) und Heilkrisis, welche ich während der Klausur durchgemacht habe, war eine überaus heftige, in die tiefsten ältesten Schichten meiner Körpersubstanz eindringende, aber die durch dieselbe erzielten Reinigungs- und Heilergebnisse befriedigen mich im höchsten Grade.

Diese Ergebnisse sind folgende:

1. Es wurde eine sehr grosse Menge harnsaurer Salze ausgeschieden; harnsaure Salze aber sind Stoffwechselreste (Gichterzeuger), welche in einen ganz naturgemäss lebenden menschlichen Körper durchaus nicht hineingehören und welche, wenn der Mensch zu dieser naturgemässen Rohfruchtnahrung übergeht, durch die lösende, reinigende Eigenschaft des infolge der Fruchtsäfte chemisch veränderten Blutes ganz unweigerlich aus der Körpersubstanz losgelöst und mit dem Harne ausgeschieden werden; denn sie sowohl wie die sie enthaltende Körpersubstanz harmonieren nicht mit dem Fruchtsaftblut und also auch nicht mit der neuen Körpersubstanz, welche sich aus der Fruchtnahrung aufbauen will, und sie müsse also, unter gleichzeitiger Zersetzung des sie enthaltenden Körpereiweisses, weichen. Wenn nun auch, wie ja der während der Klausur gradatim fortschreitende Rückgang meines Körpergewichtes zeigt, die Anpassung meines Körpers an die ausschliessliche Rohfruchtdiät ohne Nüsse noch nicht gross genug war, um mein Körpergleichgewicht zu erhalten, so ist dieser Gewichtsverlust aber doch nicht einzig und und allein auf diesen Grund resp. auf unzulängliche Ernährung zurückzuführen, sondern diese Krisis und speziell diese starke Ausscheidung von harnsauren Salzen spielt auch dabei eine wichtige Rolle, und es ist doch auch zu berücksichtigen, dass ich in jeder der Krisen der vorhergehenden Jahre immer sehr

stark, aber immer nur vorübergehend, abgemagert bin, und ich kann zudem den grossen Verlust an Körpereiweiss auch durchaus gar nicht als eine Schädigung meiner Gesundheit auffassen, sondern ganz im Gegenteil als eine hochwertvolle Förderung derselben, denn ohne solchen hätte der Reinigungs- und Heilprozess nicht so in den tiefinnersten ältesten Kern meiner Körpersubstanz eindringen und nicht eine so gründliche Reinigung stattfinden können. Hieraus und aus dem Klausurschlussergebnis, dass ich in den letzten Tagen der Klausur bei einem Körpergewichte von nur 41 kg, trotz dieser starken Abmagerung, trotz des grossen Körpereiweissverlustes und trotz meines sehr schlechten, einem Typhuskranken ähnelnden Aussehens, eine nicht unbedeutende Kraft entwickeln konnte (wovon sich die mich beobachtenden Herren durch persönliches Ringen mit mir überzeugt haben), glaube ich den Schluss ziehen zu dürfen, dass der Mensch ohne Gefahr für sein Leben und ohne jeden Schaden für seine edlen Organe und für seine Lebenskraft einen erheblichen Teil seines Körpereiweisses zeitweise und vorübergehend entbehren kann; denn wenn ich auch noch nicht meine volle Kraft und Ausdauer zurückgewonnen habe, was aber — ich fühle das auf das bestimmteste — in einigen Monaten der Fall sein wird, so bin ich doch schon wieder recht kräftig und mindestens so kräftig wie viele Männer meines Alters. Zur nähern Illustration des oben Gesagten erwähne ich noch, dass die schlimmste Zeit dieser Krisis in die letzte Woche des Dezember fiel, zu welcher Zeit ich mich einige Tage recht angegriffen fühlte, aber, nachdem ich diesen Kulminationspunkt der Krisis überwunden hatte, konnte ich schon wieder vierzehn Tage darauf, also in den letzten Tagen der Klausur, oben erwähntes Ringen anstellen, woraus hervorgeht, wie schnell sich nach überwundener Krisis die Kräfte wieder heben.

2. Es fanden wieder, wie auch schon in früheren Krisen, eitrige Absonderungen aus den innern Winkeln meiner früher mit Atropin behandelten Augen statt.

3. Während der Nacht zum 26. Dezember wurde ein gestielter Nasenpolyp mit geringer Blutung abgestossen. Diese Abstossung eines Polypen ist ein ganz besonders charakteristischer Beweis dafür, dass während einer solchen Krisis das im menschlichen Körper vorhandene Bestreben, alles was nicht in ihn hineingehört, loszulösen, auszuscheiden, abzusondern, abzustossen, in energischster Weise angefacht und verstärkt wird, denn ein Polyp ist eine Neubildung und gehört absolut nicht in einen naturgemäss lebenden menschlichen Körper hinein und wird also nun, nachdem die Fruchtsäfte die abstossende Fähigkeit des Körpers in hohem Grade gekräftigt haben, abgestossen. Hier könnte man nun einwenden, dass es auch bei nicht vegetarisch lebenden Menschen vorkommt, dass Polypen sich von selbst abstossen, aber bei mir ist dies durchaus nicht der Fall gewesen, sondern ich habe mich von meinem 20. Jahre an (siehe meinen Krankheitsbericht) verschiedenen Eingriffen und Operationen wegen dieser Nasenpolypen unterziehen müssen, welche aber alle nichts halfen (weil ja solche Operationen die Grundursachen keineswegs beheben, da durch dieselben das Übel nicht an der Wurzel angepackt werden kann), sondern ganz im Gegenteil das Übel nur verschlimmerten, denn die betreffenden Stellen in der Nase wurden nur dadurch noch mehr gereizt und nach einigen Jahren waren die neu gebildeten Polypen in noch lästigerer

Weise wieder da: also trotz Operation kamen sie wieder — und jetzt wird einer ganz von selbst, ganz schmerzlos abgestossen!

4. Es sind im Verlaufe dieser Krisis die Strikturen, unter welchen ich noch immer zu leiden hatte, vollständig behoben worden; die Harnwege sind offener, weiter, freier geworden und ich kann jetzt ganz leicht und ohne jede Beschwerde harnen, welch schöne Ausheilung ich nicht hoch genug veranschlagen kann.

5. Vom 7.—12. Januar wurde ein reichliches Quantum breiigen, schleimigen, sehr stinkenden Kotes entleert und seitdem ist meine Zunge, welche bis dahin die letzten zwölf Jahre hindurch immer stark belegt gewesen ist (das Zeichen eines chronischen Magen- und Darmkatarrhs und besonders das einer chronischen Darmverschleimung), schön rot und ohne jeden Belag; Hand in Hand damit geht das Erwachen einer grösseren Esslust.

6. Es bildete sich in den letzten Wochen ein tüchtiges Reinigungsgeschwür an der Wade meines linken Beines. Also wieder ein weiterer Beweis, dass jetzt eine Reinigungskrisis in meinem Körper im Gange ist und dass in einer solchen Krisis eine Reinigung des Körpers von alten Schlacken stattfindet. Dieses Geschwür ist nicht etwa durch eine äussere Verletzung, durch eine offene Stelle, in welche etwa etwas hineingekommen wäre, entstanden, sondern dasselbe hat sich ganz von selbst von innen heraus entwickelt und ist, ebenso wie die anderen Ausscheidungen, das Resultat der durch die Fruchtsäfte energischst angeregten Ausscheidungskraft und Selbstheilkraft des Körpers. Ich habe während der letzten Jahre mehrere Reinigungsgeschwüre gehabt, und ist meine Behandlungsweise von Geschwüren an meinem eignen also vegetarisch lebenden Körper gänzlich nihilistisch; ich tue nämlich nichts daran: Kein Schneiden, kein Ausdrücken, kein Auswaschen, keinen Verband, absolut nichts. So habe ich auch dieses Geschwür behandelt und nur ein leinenes Läppchen über dasselbe gehängt, damit keine Reibung durch das Beinkleid stattfinden konnte; das Geschwür hat so behandelt tüchtig ausgetragen und ist dann in wenigen Tagen, ohne eine Narbe zu hinterlassen, abgeheilt.

7. Meine Barthaare, die vor der Vergiftung meines Körpers durch subkutanes Einspritzen von Quecksilber (siehe meinen Krankheitsbericht) immer auffallend lang und kräftig waren, nach der Quecksilberbehandlung aber zuerst gänzlich ausfielen und dann nur immer kümmerlich wuchsen, fangen an wieder kräftiger zu wachsen und mehr Glanz zu bekommen. Dieses kräftigere Wachstum der Haare — auch die Kopfhaare zeigen eine Tendenz zu besserem Wachstume und oben auf dem Kopfe entwickeln sich neue junge Haare — ist ein weiterer schlagender Beweis der stattgefundenen Körperreinigung und -entgiftung.

Dies alles verdanke ich dieser letzten, überaus heftigen, tief durchgreifenden Reinigungs- und Heilkrisis, und wenn man die Summe obiger sieben Positionen zieht, so kann man sich doch wahrlich ganz unmöglich der Erkenntnis verschliessen, dass während der Klausur eine solche Reinigungskrisis in meinem Körper stattgefunden hat, dass in einer solchen Krisis ein erhöhtes lebhaftes Bestreben des Körpers zutage tritt, sich zu reinigen, ihm Schädliches auszuscheiden, abzusondern, nicht zu ihm Gehörendes (z. B. Nasenpolypen) abzustossen, mit einem Worte, eine Reinigung des Körpers von Grund aus in seinen verborgensten Winkeln und im Anschlusse an diese Reinigung eine Ausheilung

alter **chronischer** Schäden und Übel, denen die Medizintherapie ja vollständig machtlos gegenüber steht, herbeizuführen, dass eine solche Krisis also keine Schädigung, sondern in ihren Folgen, **in ihrem Endresultate**, eine überaus wohltätige, segensreiche, grosse Förderung der Gesundheit bewirkt, dass die Lehre von diesen Reinigungs- und Heilkrisen also keine schädliche Irrlehre, sondern eine auf dem ehernen Naturgesetze felsenfest beruhende Wahrheit ist, eine Wahrheit, welche der Therapie neue ungeahnte Perspektiven eröffnet, und dass daher diese Lehre und somit der Vegetarismus und die Naturheilmethode überhaupt nicht bekämpft werden dürfen, sondern wissenschaftlich auf das Allereingehendste studiert, begründet und dann in allen Volksschichten verbreitet werden müssen, und zwar muss diese Belehrung und Aufklärung des Volkes schon in der Schule beginnen. —

In solchen Krisen geht das Befinden auf und ab, und wenn man schon einen oder auch mehrere Tage hindurch sich schon viel wohler und kräftiger fühlt, überfällt einen dann plötzlich, meistens nachts, wieder irgendein, oft mehrere Stunden anhaltender, oft äusserst heftiger und schliesslich mit irgendeiner kritischen Ausscheidung endigender Schmerz in Darm, Blase, Nieren, Lunge oder Galle usw., also an denjenigen kranken belasteten Stellen der Organe des chronisch-kranken Körpers, deren Reinigung und darauf folgende Ausheilung der Zweck dieser Reinigungs-(Entgiftungs-) und Heilkrisen ist, aus welcher Organreinigung und -ausheilung heraus sich dann späterhin die Kräftigung und Regeneration (Verjüngung) des ganzen Körpers entwickelt, da nunmehr wieder in allen Organen, welche vorher belastet, beengt und daher schlecht funktionierend (chronisch-krank) waren, ein besseres, leichteres, freieres und wieder richtiges, geregeltes Funktionieren stattfindet. Auch die Haut beteiligt sich an dem Ausscheidungs- und Reinigungsgeschäfte, indem im Verlaufe der Krisen häufig starke, teilweise sehr stinkende Nachtschweisse eintreten.

Die Tatsache dieser mit dem Übergange zur vegetarischen Diät eintretenden und sich je nach der Hartnäckigkeit des Falles eventuell eine längere Reihe von Jahren hindurch in ziemlich regelmässigen Perioden bis zur völligen Reinigung und völligen Ausheilung wiederholenden Reinigungs- und Heilkrisen, die fernere, schon oben erwähnte Tatsache, dass diese Krisen bei dem Übergange zur ausschliesslichen vegetarischen Rohkost noch viel heftiger, stärker, durchgreifender, aber auch heilkräftiger sind als bei dem Übergange zur vegetarischen gekochten Kost, und die weitere Tatsache, dass bei Körpern wie der meinige, welche viel mediziniert haben und deren Übel also durch dieses Medizinieren zu chronischen Leiden verschlimmert und vertieft worden sind, und besonders bei solchen Körpern, in welche Gifte subkutan eingespritzt worden sind, solche Krisen sich eventuell durch eine sehr lange Reihe von Jahren hindurch wiederholen müssen und am allerheftigsten auftreten, alle diese Tatsachen sind von Hunderten ehrenwerter Männern — und darunter sind viele hochehrenwerte, von der Wichtigkeit und dem hohen Werte des Vegetarismus und der Naturheilmethode und von der unumstösslichen Wahrheit der

Lehren und Heilerfolge derselben durch langjährige Erfahrung im Tiefinnersten überzeugte, wissenschaftlich gebildete, promovierte, approbierte Ärzte — als ganz unzweifelhaft richtige Wahrheiten festgestellt worden.

Es wäre sehr zu wünschen, dass junge Mediziner einige Jahre in den von diesen abprobierten Ärzten geleiteten Naturheilanstalten zubrächten, um die Naturheilmethode (giftfreie physikalisch-diätetische Heilweise) gründlichst kennen zu lernen; dann würden bald die ganz unhaltbaren Zustände aufhören, dass ein grosser Teil der Mediziner heute noch die so überaus segensreiche Naturheilmethode für gemeingefährliche Kurpfuscherei hält und auf das allerschärfste bekämpft!

Zu meiner obigen Bemerkung über das Verhalten solcher Körper, in welche Gifte subkutan eingespritzt worden sind, füge ich noch hinzu, dass dies bei mir (siehe meinen Krankheitsbericht) mit **Quecksilber** der Fall ist, welches ja mit dem Körpereiweiss chemische Verbindungen eingeht, sich so in die Körpersubstanz gleichsam einkrallt und daher nur durch eine so langjährige, mit Körpereiweisszersetzung verbundene Radikalkur, wie ich sie durchgemacht habe, gänzlich wieder aus dem Körper hinausgebracht werden kann, **und welches durch seine Giftwirkung die Funktionen des Körpers und des Geistes in bösester Weise lähmt und infolgedessen auf das Empfinden der Seele auf das allerschlimmste, auf das verhängnisvollste einwirkt, woher es kommt, dass so viele mit Quecksilber Behandelte durch Selbstmord enden!**

Die Reinigungs- und Heilkrisen sind gleichsam Etappen auf dem sichern, aber allerdings dornenvollen Wege, auf welchem sich der Chronischkranke, selbst wenn, wie in meinem Falle, seine Übel ein Jahrzehnt und mehr alt sind, zur Wiedergesundung emporringen kann, er muss nur, wie es auch komme, fest vertrauen, fest beharren und sich durch niemanden, durch nichts von dem eingeschlagenen Wege ablenken lassen!

Derjenige aber, der fest beharrt hat, der dies alles an seinem eigenen Körper durchgemacht hat und sieht, wie er sich durch diese Krisen hindurch Schritt für Schritt aus bösem chronischen Krankheitselende zur vollständigen Wiedergesundung, ja zu einer Körperverjüngung hindurch- und emporringt, der hegt den heissen Wunsch, dass dieser so überaus hohe therapeutische Wert des Vegetarismus und das Wesen der mit demselben unzertrennlich verbundenen Reinigungs- (Entschleimungs-, Entfettungs-, Entgiftungs-) und Heilkrisis doch von der Medizinwissenschaft nicht verkannt, sondern eingehend nachgeprüft und anerkannt, und dass von ihr diese vorzügliche unübertreffliche Heilweise im Vereine mit den Heilfaktoren der giftfreien Behandlungsweise der Naturheilmethode, welche beide vereint die Therapie der Zukunft bilden, angewandt werden möge!

Denn die heute leider noch immer offiziell geltende symptomatische Therapie unter Anwendung von Medizingiften ist ja in Wirklichkeit gar keine Therapie, da sie durch ihre lähmende Giftwirkung ganz lediglich nur eine Veränderung des Krankheitsbildes, nämlich nur das Verschwinden der Symptome, herbeiführt,

woraus die verhängnisvolle irrige Annahme entsteht, dass die Krankheit behoben sei. Dies ist aber nicht der Fall, denn diese Medizinalbehandlung hat durchaus gar keine wirkliche Heilung von Grund aus bewirkt, da keine Körperreinigung stattfinden konnte, weil diese Giftherapie ganz unausbleiblich eine giftige Nebenwirkung zur Folge haben muss, welche einen lähmenden Einfluss auf das Nervensystem, auf die Tätigkeit der Organe und somit auch auf das natürliche Reinigungs- und Heilbestreben des Körpers ausübt; hieraus entwickeln sich dann, da zudem das ursprüngliche Übel, nunmehr latent weiter schlummernd, fortwährend aber vergeblich nach Ausheilung ringt, die verschlimmerten Rückfälle, kompliziert durch Affektionen edler Organe, und schliesslich die bösen chronischkranken Zustände, welche, wenn mit der Giftbehandlung fortgefahren wird, zu unheilbaren ausarten.

In den Reinigungs- und Heilkrisen findet nun ein Rückwärtswiederaufrollen der früher durch Medizingiftbehandlung nicht aus dem Körper hinausgeheilten, sondern in ihn hinein zurückgetriebenen, in ihm festgehaltenen, — ja ich möchte sagen — in ihn gleichsam „hineingewickelten" und dadurch, wie oben erwähnt, nunmehr latent (gebunden) in ihm schlummernden früheren akuten Übel statt, welche also in diesen Krisen aus diesem latenten chronischen wieder in ihren ursprünglichen akuten Zustand übergeführt werden und jetzt erst zur wirklichen Ausheilung vermittelst der in den Krisen eintretenden energischen Körperreinigung gelangen.

Eine akute Krankheit äussert sich in dem heftigen, mit Fieber verbundenen Bestreben des Körpers, in ihm befindliches Unreines, ihm Fremdes, nicht in ihn Hineingehörenden durch eine erhöhte Lebenstätigkeit — das ist nämlich das Fieber — hinauszuwerfen, und dieses Bestreben muss eine richtige Therapie unterstützen, aber nicht lähmen, wie dies die Medizingifttherapie tut, entgegen dem vornehmsten Grundsatze aller Heilkunst: nunquam nocere! Diese Unterstützung besteht in der giftfreien Therapie der Naturheilmethode hauptsächlich darin, dass sie das Fieber nicht etwa unterdrückt, wie das durch die Medizingifte geschieht, sondern solches durch sanfte Wasseranwendungen, also durch eine Anregung der Ausscheidungstätigkeit der Haut, solche also gleichsam als Ventil benutzend, nur in den nötigen Schranken hält, im übrigen aber **als wertvollstes Heilmittel** nach aller Möglichkeit ausnützt.

Krankheit überhaupt, sowohl akute wie chronische, ist also ein Behaftetsein, ein Belastetsein des Körpers mit ihn krankmachenden, ihm fremden, nicht in ihn hineingehörenden unreinen Stoffen, Stoffwechselresten (z. B. harnsaure Salze, Fettablagerungen) usw., und der Unterschied zwischen akuter und chronischer Krankheit ist der, dass bei der akuten oben genanntes Reinigungs- und Heilbestreben des Körpers noch energisch vorhanden ist, dass dagegen solches bei chronischer Krankheit vollständig gelähmt darnieder liegt und nur durch vegetarische Diät und die Heilfaktoren der Naturheilmethode wieder erweckt werden kann, wenn überhaupt noch Hilfe möglich und die nötige Lebenskraft vorhanden ist. Aber selbst in den bösesten unheilbaren Fällen bietet die giftfreie Naturheilweise in ihren Heilfaktoren wirksamste Mittel zur Linderung der Schmerzen und Leiden.

Eine weitere Lehre der Naturheilmethode ist die, dass die Beschaffenheit des Blutes eine grosse und wichtige Rolle bei Krankheiten (z. B. bei Krebsleiden)

und deren Heilung spielt. Eine durchgreifende regenerierende Einwirkung auf die Beschaffenheit des Blutes hat nun aber die vegetarische Diät, und es ergibt sich aus der Tatsache der durch das Blut vermittelten körperreinigenden Heilkraft der vegetarischen Diät der schlagende Beweis für die Richtigkeit dieser Lehre; so kommt also die alte Lehre der Humoralpathologie wieder zu ihrem Rechte.

Die Bakterien sind als Begleiterscheinung der Krankheiten, als naturnotwendige Produkte, ja eventuell sogar als nötige Mithelfer des Krankheitsprozesses aufzufassen, und soweit sie bei ansteckenden Krankheiten als Krankheitserreger in Frage kommen, sind sie nur die Auslöser der Krankheit und nicht die Ursache derselben; die Krankheitsursache liegt tiefer und ist ganz lediglich nur in oben erwähntem Belastetsein des Körpers mit ihn verunreinigenden Fremdstoffen zu suchen, denn nur in einem solchen unreinen kranken Körper finden die Bakterien Nahrung und Lebensbedingung, aber einem reinen, gesunden, mässig, und naturgemäss lebenden Körper können sie nichts anhaben, weil solcher ihnen keinen Nährboden bietet.

Diese mit zwingend-überzeugender Logik aufgebaute Krankheitslehre der Naturheilmethode, welche ich oben nur flüchtig in ihren Grundlinien skizziert habe, aber erwähnen musste, um meine Ausführungen über das Wesen der Reinigungs- und Heilkrisen in das richtige Licht zu rücken, wird leider als eine Irrlehre aufgefasst, sie ist es aber wahrlich nicht, denn die Praxis beweist und erhärtet ihre Richtigkeit in tausenden und abertausenden Fällen; es kann ja auch nicht anders sein, denn die Anwendungsformen der giftfreien Heilfaktoren der Naturheilmethode sowie deren Wirkungen fügen sich in ihre Krankheitslehre zu einem logisch-harmonischen Ganzen ein.

Das was zur unrichtigen Beurteilung der Reinigungs- und Heilkrisen und damit auch zur unrichtigen Beurteilung des Vegetarismus und der Naturheilmethode überhaupt führt, ist der schon oben kurz erwähnte Umstand, dass **vorübergehend** eine starke Abmagerung, ein Sinken der Kraft, schlechtes Aussehen, schwacher Puls, sowie eine starke Tendenz zu kalten Händen und Füssen eintritt, welche Symptome irrtümlicherweise als eine Verschlimmerung, ja sogar als eine bleibende Schädigung aufgefasst werden; aber dies alles ist, wie jeder in den Krisen nicht wankende, fest beharrende Patient zu seiner hohen Freude an sich erfährt, ja nur **vorübergehend!** Die Abmagerung wird ja bald wieder überwunden, die Kraft hebt sich ja bald wieder, ja sie wird nach überstandener Reinigung eine grössere wie vor der Krisis, und das schlechte Aussehen verwandelt sich in ein Wiederaufblühen! Wenn nun in einer Krisis eine solche scheinbare Verschlimmerung eintritt, werden manche Patienten, die das wirkliche Wesen und die Notwendigkeit dieser Krisen nicht begriffen haben, wankelmütig und fahnenflüchtig und eilen wehklagend und auf die Naturheilmethode schimpfend zum Mediziner; so wird denn diese segensreiche Heilmethode, diese hehre Helferin der kranken Menschheit, diskreditiert und beschimpft, weil diese willensschwachen Patienten nicht begreifen konnten, dass diese scheinbare Verschlechterung ihres Zustandes nur vorübergehend war, dass sie fest durchhalten mussten, um den Preis zu erringen und dass hier der Spruch gilt: Per aspera ad astra! — Dass Abmagerung und ein Sinken der Kraft in den Krisen vorübergehend eintritt, ist ja auch ganz erklärlich, denn der Körper hat ja, indem sich in ihm dieser

Reinigungsprozess vollzieht, eine grosse, ihn sehr anstrengende, innere Arbeit zu leisten, welche nun in erster Linie vorgeht, und infolgedessen muss auch während dieser Zeit das Ernährungsgeschäft in den Hintergrund treten. Diese Momente müssen bei Beurteilung der Phasen, welche mein Körper während der Klausur durchgemacht hat, unbedingt mit in Rechnung gestellt werden. —

Ich schalte hier noch als charakteristisch ein, dass jedesmal einige Stunden vorher, ehe der mit den früher erwähnten zähen stinkenden Schleimknoten und Schleimfäden behaftete Kot ausgeschieden wurde, meine Hände immer ganz besonders kalt und blutleer waren; einige Fingerköpfe waren oft dabei leichenblass und wie leblos und ohne Gefühl. Sobald jedoch dieser kritische Kot entleert war, flutete das Blut wieder kräftig in die Hände zurück und wurden solche dann schön warm und von rötlicher Farbe. Auch mein Allgemeinbefinden hob sich dann immer sofort sehr.

Zum weiteren Beweise des hohen therapeutischen Wertes der vegetarischen Diät und der Heilfaktoren der Naturheilmethode führe ich, einen für viele, hier folgenden Fall an: Im Frühjahre 1900 wohnte ich einige Wochen im Lichtluftbadeparke des unter der Leitung eines approbierten Arztes stehenden Kronbergschen Erholungsheims und Sanatoriums in Neustadt (Südharz). Zu dieser Zeit kam dort ein den gebildeten Kreisen angehörender Berliner Herr hin, welcher sehr schwer von Syphilis infiziert war; er war am ganzen Körper inkl. Gesicht und Kopf über und über mit syphilitischem Ausschlage bedeckt und sah ganz schrecklich aus. Dieser Herr ist nun dort durch vegetarische gekochte Diät und durch Anwendung von Lichtluft- und Sonnenbädern, durch sanfte Wasserbehandlung und Wohnen und Schlafen in einer Lufthütte **radikal geheilt worden** und ist wieder dauernd ganz gesund und arbeitskräftig, wie ich mich noch dieser Tage durch einen Besuch bei ihm überzeugt habe. Leider geht es aus begreiflichen Rücksichten nicht an, den Namen dieses Herrn zu nennen, aber ich verbürge die Wahrheit des oben Gesagten mit meinem Worte.

Da ich nun einerseits körperlich, geistig und seelisch so unsäglich schwer unter der bösen giftigen Nachwirkung des subkutan in mich hineingespritzten Quecksilbergiftes habe leiden müssen und ich mich anderseits an obigem eklatanten Falle durch eigene Anschauung davon überzeugt habe, dass ein solch schwerer Fall von Syphilis durch oben geschilderte Behandlungsweise radikal heilbar ist, so habe ich in dieser wissenschaftlichen Frage, wenn ich auch nur ein Laie bin, das Recht der Kompetenz erworben, und es erwächst mir daraus die Gewissenspflicht, an alle Ärzte die dringendste Bitte zu richten, doch Syphilis nie und nimmer mehr mit Quecksilber zu behandeln, sondern solche mit vegetarischer Diät und den giftfreien Heilfaktoren der Naturheilmethode zu heilen!

Zum Schlusse ergreife ich mit Freuden diese Gelegenheit, den sämtlichen Herren, unter deren wissenschaftlicher Beobachtung ich während der Klausur gestanden habe, für die mir erzeigte grosse Fürsorge und das mir erwiesene freundliche Wohlwollen meinen herzlichsten Dank zu sagen!

Berlin, Anfang Februar 1903.

Max H.

Eine kurze Kritik meinerseits soll hier nur der Begriff „Heilkrise“ finden, welcher in vielen Publikationen und Erörterungen der Vegetarier eine erhebliche Rolle spielt. Es handelt sich hier m. E. um folgenden Vorgang: Bei dem Übergang zu einer neuen eigenartigen Diät stellen sich Störungen des allgemeinen Wohlbefindens und speziell solche der Verdauungsorgane ein, welche um so heftiger und nachdrücklicher sind, je mehr die Kost von derjenigen abweicht, die auf Grund millionenfacher praktischer Erfahrungen und vielfacher wissenschaftlicher Belege als die rationelle für die menschliche Ernährung erkannt worden ist. Allmählich allerdings tritt in den meisten Fällen eine Gewöhnung an die neue Kost ein, sei es, dass der Eiweissbestand des Körpers derartig zurückgeht, dass der Organismus mit einer geringeren Eiweisszufuhr auszukommen vermag, sei es, dass die Verdauungsorgane durch erhöhte Tätigkeit die gärungsfähigen und schwerer verdaulichen Stoffe, welche eine stark cellulosehaltige Pflanzennahrung dem Organismus zuführt, zu schnellerer Ausscheidung aus dem Körper bringen lernen. Auch in bezug auf verschiedene Ernährungsformen zeigt der Organismus eine erstaunliche Anpassungsfähigkeit, und, ist auf solche Weise eine Gewöhnung an die betreffende Diät eingetreten, hat der Körper die durch dieselbe bedingten Schädlichkeiten überwunden, so tritt ein relatives Wohlbefinden ein, welche nach den Unannehmlichkeiten der „Krisis“ besonders wohltuend empfunden wird, und den gläubigen Vegetarier nun erst recht von der rationellen Zusammensetzung seiner Kost überzeugt. Dass diese Anpassungsfähigkeit des Organismus allerdings nicht ins unbegrenzte geht, dafür wird, wie ich glaube, dieser Versuch ein Beispiel geben, welches an Überzeugungskraft nichts zu wünschen übrig lässt.

Neben den in der Niederschrift des Herrn H. enthaltenen Gesichtspunkten, welche ihn veranlassten, eine derartige Kost zu wählen, nämlich dem Vertrauen in die Heilkraft dieser Diätform und den angeführten volkswirtschaftlichen Erwägungen, muss ich aber noch zwei weitere Gründe anführen, welche Herr H. zu Beginn des Versuches geltend machte. Dieselben waren, dass in der Tat die reine Fruchtnahrung die einzige Form der Ernährung sei, welche als wahrhaft naturgemäss bezeichnet werden könne; denn selbst der Ackerbau sei bereits ein Erzeugnis der degenerierenden Kultur, da er den Menschen veranlasse, künstlich zubereitete Nahrung, wie Brot, aufzunehmen. Nur in den Früchten, welche genau in derselben Form, wie sie in der Natur erzeugt sind, vom Menschen genossen

werden können, sei die wahrhaft ideale Ernährung gegeben. Ferner ging Herr H. von dem gewiss nicht ganz unberechtigten Gedankengange aus, dass im allgemeinen die Nahrungszufuhr unserer gebildeten Stände eine überreichliche und daher dem Organismus wenig zuträgliche sei. So war er der Meinung, dass mit 1 kg Früchte der Mensch seine Nahrungsbedürfnisse bestreiten könne, und schlug mir vor, ihn in Beobachtung zu nehmen, während er sich in dieser Weise ernährte. Es ist selbstverständlich, dass ich meine grossen Bedenken hatte, diesen Versuch auszuführen, und dass ich mir wohl bewusst war, wie leicht dabei Gesundheit, ja das Leben der Versuchsperson aufs Spiel gesetzt werden könne. Doch war das Ersuchen des Herrn H. ein so dringliches, dass ich demselben bei dem hohen Interesse, welches eine derartige Untersuchung zu haben schien, nicht zu widerstehen vermochte. Schliesslich fühlte ich mich zu der Ausführung des Versuches geradezu verpflichtet, als mir Herr H. ehrenwörtlich versicherte, dass er den Versuch auf jeden Fall unternehmen werde. Denn ich musste mir sagen, dass der für seine Idee begeisterte Mann sich ohne ärztliche Beobachtung noch in weit höherem Masse durch einen derartigen Versuch gefährde, als wenn ich ihn unter ständiger Kontrolle hielt. Doch erklärte ich von vornherein, dass ich mit dem Augenblicke, wo ich die Fortsetzung des Versuches für die Versuchsperson als gefährlich ansehen müsse, denselben abbrechen würde, und ich für denselben dann keinerlei weitere Verantwortung übernehmen könne. Obgleich bei dem durchaus vornehmen und ehrlichen Charakter des Herrn, sowie bei seiner grossen Energie und der festen Überzeugung von der Richtigkeit seiner Idee mir persönlich jeder Betrug ausgeschlossen erschien, wurde der Versuch dennoch in strenger Klausur unter ständiger Beobachtung durchgeführt, was sich auch durchaus mit den Wünschen des Herrn Hauptmanns deckte, welcher auf diese Weise eine zweifellose Attestierung seines gelungenen Ernährungsversuches erwartete.

Durch das ausserordentlich liebenswürdige Entgegenkommen des Herrn Geh. Rats Prof. Dr. Goldscheider wurde mir gestattet, Herrn H. in dem Einzelzimmer einer Baracke des hiesigen städtischen Krankenhauses Moabit während der Versuchsdauer unterzubringen. Herrn Geh. Rat Goldscheider sowohl wie dem damaligen Assistenten der Station, Herrn Dr. Alexander, bin ich zu ausserordentlichem Danke verpflichtet. Über die allgemeine Lebensweise der Versuchsperson gibt sein eigener Bericht ein zutreffendes Bild.

Zu Beginn des Versuches am 30. Oktober 1902 stellte sich Herr H. als ein schlanker, hagerer Mann von 1,685 m Körpergrösse dar. Sein Gewicht betrug nur 53,5 kg. Seine Gesichtsfarbe war eine gute, rosige, sein Puls war langsam, aber voll und kräftig, etwa 76 in der Minute. Die Folgen der vorhergehenden Ernährung, welche aus der von ihm selbst gegebenen Anamnese erhellt, waren nicht ausgeblieben. Sie zeigten sich in einem ausserordentlichen Fettschwund, welcher sich, in eigentümlichem Gegensatze zu dem blühenden Ausdrucke des Gesichts, in schlaffer, welker Haut zu erkennen gab, die sich überall in grossen Falten abheben liess. Die Muskulatur war dabei leidlich kräftig entwickelt. Subjektiv bestand vollkommenes Wohlbefinden. Eine Untersuchung ergab keine wesentlichen pathologischen Merkmale. Nur ist zu bemerken, dass die Zähne schlecht waren und fortdauerndes Tränen der Augen bestand.

Der Versuch begann am 30. Oktober 1902, nachdem am Abend vorher durch Klystier eine starke Kotentleerung erreicht worden war. Er erstreckte sich in ununterbrochener Folge bis zum 13. Januar 1903, dauerte also 76 Tage. Der Versuch zerfiel durch Verschiedenheit der Ernährung in drei Perioden. In der ersten Periode, welche vom 30. Oktober bis zum 9. Dezember, also 41 Tage lang währte, nährte sich die Versuchsperson von 1 kg Trauben täglich. An einigen wenigen Tagen mussten, da Trauben nicht zu beschaffen waren, dieselben durch das gleiche Gewicht Äpfel ersetzt werden. Die zweite Periode dauerte vom 10. bis 30. Dezember, also 21 Tage. In ihr wurde täglich 1 kg Äpfel verabreicht mit Ausnahme der Tage vom 25. bis 27. Dezember inkl., bei welchem ein Teil der Äpfel durch das gleiche Gewicht getrockneter Feigen ersetzt wurde. In der dritten Periode, vom 31. Dezember 1902 bis 13. Januar 1903, war die Nahrung eine reichhaltigere und weniger gleichmässige. Sie setzte sich zusammen aus Äpfeln dreier verschiedener Sorten, Feigen und Apfelsinen.

Von sämtlichen Nahrungsmitteln wurden täglich grössere Proben entnommen, dieselben zu einer Durchschnittsprobe vereinigt und diese Durchschnittsprobe auf Stickstoff nach Kjeldahl und auf ihren Brennwert in der Berthelot'schen Bombe analysiert. In derselben Weise wurde mit Harn und Kot verfahren. Ferner wurden in allen Nahrungsmitteln sowie im Kot Reineiweissbestimmungen nach Stutzer ausgeführt. Die nach diesem Verfahren gewonnenen Werte werden als „N aus Eiweiss“ in Rechnung gestellt; obgleich

ich mir bewusst bin, dass diese Bezeichnung keineswegs absolut zutreffend ist.

Eine Abgrenzung des Kotes der verschiedenen Perioden erwies sich als unnötig, da die Zugehörigkeit desselben durch die stets reichlich in ihm enthaltenen Nahrungsreste zweifellos zutage trat und bei der Dauer der einzelnen Perioden auch abgesehen davon eine geringe Verschiebung nicht ins Gewicht gefallen wäre.

Mit einigen Worten muss ich noch auf die Bestimmung des Brennwertes im Harn eingehen, weil dies der wunde Punkt bei der Anstellung eines Kraftwechselversuchs zu sein pflegt, um so mehr, wenn bei einer stickstoffarmen Nahrung wie in diesem Falle der Brennwert des Harns ein ausserordentlich geringer ist. Es sind bekanntlich verschiedene Vorschläge gemacht worden, den Harn zur kalorimetrischen Bestimmung vorzubereiten. Besonders viel geübt und in einer grossen Anzahl von Fällen auch sicherlich vortrefflich ist das von Kellner[1]) angegebene Verfahren, den Harn im Vakuum auf einem gewogenen Zelluloseblöckchen einzutrocknen und mit demselben zu verbrennen. Gegen dieses Verfahren hat Rubner[2]) den Einwand erhoben, dass bei dem hohen Brennwert der Zellulose im Verhältnis zu demjenigen der zu untersuchenden Substanz eine Fehlerquelle in die Analyse hineingetragen würde, welche von unverhältnismässiger Grösse sei. Ferner hat man ja auch keine Garantie dafür, dass nicht auch bei dieser gewiss sehr schonenden Methode des Eintrocknens Zersetzungen und Verluste an brennbarer Substanz im Harn entstehen. Man hat daher vielfach unter Umgehung der Zelluloseblöckchen den Harn eingetrocknet bei einem Zusatze von Säuren, speziell von Oxalsäure (Rubner). Aber auch diese Art des Vorgehens scheint nicht ohne Bedenken zu sein. Wie die auf Tangl's Veranlassung ausgeführten Untersuchungen von K. Farkas und M. Korbuly[3]) ergaben, wird beim Eintrocknen mit Zusatz von Säure zwar der Stickstoffverlust vermieden, aber der kalorische Wert des Harns wesentlich verändert. In dem Versuche, welchen Glässner und ich publiziert haben, verfuhren wir in der Weise,

1) O. Kellner, Untersuchungen über den Stoff- und Energieumsatz volljähriger Ochsen. Die landwirtsch. Versuchsstationen Bd. 47 S. 275.

2) Der Energiewert der Kost des Menschen. Zeitschr. f. Biologie Bd. 42 S. 270. 1900.

3) Kritisch-experimentelle Studien über die Kalorimetrie des Harns. Pflüger's Arch. Bd. 104. 1904.

dass wir eine grössere Menge des Harns zunächst in einem Porzellanschälchen zu sirupöser Konsistenz eindampften und den Rückstand darauf mit möglichst wenig Wasser in das Platinschälchen der kalorimetrischen Bombe brachten und im Vakuum vollends eintrockneten. Wir wählten dieses Verfahren, obgleich wir uns bewusst waren, dass auch bei diesem die Fehlerquellen nicht gering sind. Doch waren wir der Ansicht, dass bei dem sehr geringen Brennwerte, welchen der Harn gegenüber dem hohen Energiegehalt von Nahrung und Kot repräsentierte und der grossen Menge des Harns, welche wir bei diesem Verfahren zu einer einmaligen Probe benutzen konnten, der Fehler, der durch Zersetzung des Harns bedingt war, nicht wesentlich ins Gewicht fallen könne. Schwieriger lagen die Verhältnisse bei der Untersuchung des Harns des Hauptmanns H. Auch hier konnte ich von vornherein sicher sein, nur einen äusserst geringen Brennwert des Harns zu finden, und es verbot sich daher das sonst so beliebte und bequeme Verfahren Kellners anzuwenden. Andrerseits spielte bei der Bilanz der Brennwert des Harns eine sehr viel grössere Rolle als in dem Versuche am Ingenieur K. und seiner Gattin, weil die Gesamtenergiezufuhr eine ausserordentlich spärliche war und daher selbst der geringe Energiegehalt des Harns von Bedeutung sein musste. Ich bemühte mich daher, das Verfahren, welches Glässner und ich angewandt hatten, dadurch zu einem genaueren zu gestalten, dass ich den Stickstoffverlust beim Eintrocknen zu bestimmen und in Rechnung zu stellen suchte, wie dies in etwas anderer Form schon von Kellner u. A. ausgeführt worden ist. Ich bestimmte also den Stickstoffgehalt in der Volumeinheit des Harns und bereitete dann ein Quantum desselben zur kalorischen Verbrennung vor. Zu diesem Zweck wurde der Harn zunächst im Vakuum bis auf ein kleines Volumen eingedampft. Es führte dies Verfahren jedoch im Gegensatze zu unseren Erfahrungen bei normalem Harn niemals zu befriedigender Trocknung, wie Rubner dies gleichfalls bereits für einige Versuche angibt. Der Grund liegt in unserem Falle in dem geringen Gehalte des Harns an organischer Substanz bei grossem Reichtum an Salzen. Es musste daher stets eine weitere Eindampfung bei höherer Temperatur folgen.

In einer andern Probe des Harns, welche genau in gleicher Weise behandelt worden war, ermittelte ich den Stickstoff im Harnrückstande nach der Trocknung. Aus dem Vergleich des Stickstoffs im

frischen Harn und in dem zur Verbrennung präparierten Harnrückstande schloss ich auf den Verlust an brennbarem Material während des Eintrocknens. Ich rechnete den Verlust an Stickstoff auf Harnstoff um und stellte ihn mit dem Brennwerte von 2,5419 kal. pro Milligramm Harnstoff in Rechnung.

Die Verluste an Stickstoff bei dieser Prozedur waren durchaus nicht unbedeutend. Um ein Beispiel zu geben: In zwei Proben eines Mischharns à 50 ccm wird der N-Gehalt zu 0,315 bezw. 0,305 g N ermittelt. Der Rückstand der Probe I enthält 0,28 g N, derjenige der Probe II 0,27 g N. Daraus ergibt sich auf 50 ccm des Harns eine Differenz von 35 mg N, welche bei der Prozedur des Eindampfens verloren gegangen sind. Diese 35 mg N entsprechen 75 mg Harnstoff.

Die Harne wurden für die kalorimetrische Bestimmung in einzelne Perioden eingeteilt, aus diesen Perioden die sauer reagierenden gewählt, aus ihnen ein Mischharn hergestellt, in welchem die kalorimetrische Bestimmung ausgeführt wurde. Der erste Mischharn enthielt die Periode vom 31. Oktober bis 19. November 1902. Der zweite umfasste die Periode vom 4. Dezember bis 9. Dezember, der dritte vom 16. Dezember bis 24. Dezember, der vierte vom 6. Januar bis 9. Januar 1903, der fünfte vom 10. Januar bis 13. Januar. In letzterem Falle reagierte der Harn alkalisch, und wurde daher der Fehler, welcher durch den Verlust an Brennwert entstand, sowohl auf Ammoniak als auch auf Harnstoff berechnet. Doch stellte sich heraus, dass der Unterschied nur ein äusserst geringer war. Auf 100 ccm betrug der Verlust an Brennwert, berechnet auf Harnstoff 268 kal., auf NH_3 321 kal., so dass in dem ersten Falle der Brennwert von 100 ccm Mischharn 14,53, im zweiten Falle 14,58 kal. war, was für die Gesamtbilanz nicht in Betracht kam.

Man kann daraus ersehen, dass diese Methode der kalorimetrischen Bestimmung auch im alkalisch reagierenden Harn ohne allzu grosses Bedenken angewandt werden kann, wenn ich auch keineswegs glaube, dass dieselbe als eine ideale anzusehen ist.

Wesentliche Schwierigkeiten bot auch die Analyse der Weintrauben, und zwar deswegen, weil es sich als unmöglich erwies, die Trauben in toto zu trocknen und zur weiteren Verarbeitung geeignet zu machen. Ich sah mich daher genötigt, dieselben zu pressen und den Saft der Trauben gesondert von dem Rückstande, den

Schalen und Kernen, zu untersuchen. Der so aus einer bekannten Menge frischer Weintrauben gewonnene Saft wurde auf ein gemessenes Volumen aufgefüllt und in ihm Brennwert- und Stickstoffbestimmungen vorgenommen. Bei der Verbrennung verfuhr ich in der Art, dass ich 10 ccm zur sirupösen Konsistenz eindampfte und in dem Platinschälchen der Bombe im Vakuum bei nicht erhöhter Temperatur vollständig trocknete, wobei ich allerdings sorgfältig darauf acht geben musste, dass nicht ein zu starkes Schäumen und so ein Verspritzen der Flüssigkeit statthatte. Ich erhielt auf diese Weise sehr gut übereinstimmende analytische Werte.

Der Pressrückstand wurde in Form von Pastillen verbrannt.

Ich lasse nunmehr den Versuch am Hauptmann H. in möglichst übersichtlicher Form in Gestalt von Tabellen folgen (siehe S. 508 bis 517).

Zu diesen Tabellen möchte ich noch folgendes bemerken: Im Harn vom 20. November bis zum 3. Dezember hat eine Bestimmung des Brennwertes des Harns nicht stattgefunden. Der Brennwert ist vielmehr aus den Werten des Mischharns I vom 31. Oktober bis 19. November und des Mischharns II vom 4. bis 9. Dezember ermittelt worden. Dies war deswegen zulässig, weil die Ernährung ja eine sehr gleichmässige war und der Brennwert der Mischharne I und II nur sehr wenig differierte. Für die Tage vom 10. bis 15. Dezember wurde der Wert, welcher sich für den Mischharn vom 16. bis 24. Dezember ergeben hatte, in Rechnung gestellt, was bei der absolut gleichmässigen Nahrung durchaus zulässig erscheint. Andrerseits mussten für die Tage vom 25. bis 27. Dezember eine Berücksichtigung des Brennwertes im Harn unterbleiben, weil die Ernährung an diesen Tagen zu sehr von dem Durchschnitt abwich. Dagegen wurde vom 28. bis 30. Dezember wiederum der Brennwert des Harns vom 16. bis 24. Dezember als richtig angenommen. Vom 31. Dezember bis zum 5. Januar konnte der Brennwert im Harn nicht bestimmt werden, da derselbe durch Unachtsamkeit beim Auffangen unbekannte Mengen von Petroleum enthielt, welche den Brennwert in nicht zu übersehender Weise beeinflusst hätten. Auch wich die Ernährung an diesen Tagen immerhin so erheblich von der vorhergehenden und von der nachfolgenden ab, dass ich eine Interpolation der Brennwerte nicht ausführen wollte. Im übrigen ist unter der Rubrik „Bemerkungen“ in der Tabelle stets angegeben,

an welchen Stellen die Brennwerte des Harnes experimentell gefunden, und an welchen rechnerisch festgestellte Mittelwerte zur Verwendung gelangten. Der Gesamtbrennwert des Mischharns wurde auf die einzelnen Tage gemäss dem Stickstoffgehalte der betreffenden Harne verteilt. Wenn auch, wie bei Betrachtung der kalorischen Quotienten ausgeführt werden wird, diese Verteilung vielleicht mit Unsicherheiten behaftet ist, so erhält man doch auf diese Weise geringere Schwankungen im Brennwerte der Harne, als wenn die Verteilung einfach nach dem Volumen vor sich geht. Dies ist ja auch erklärlich, wenn man bedenkt, von wie vielen wechselnden äusseren Umständen das Volumen des Harns abhängig ist. Auf die tägliche Bilanz des Kraftwechsels haben diese Überlegungen jedoch nur einen sehr geringen Einfluss, entsprechend dem an und für sich so geringen Brennwerte des Harns.

Auf weitere Einzelheiten der Tabelle soll erst später eingegangen werden.

Stellen wir aus den Daten, welche uns die Tabelle an die Hand gibt, die Gesamtbilanzen der einzelnen Perioden auf, so finden wir folgendes: In der ersten Periode wurden Weintrauben gereicht, und zwar täglich 1 kg, mit Stielen und Kämmen gewogen. Die letzteren wurden nicht mitgegessen und am nächsten Tage zusammen mit etwaigen schlechten und daher ungeniessbaren Beeren zurückgewogen. Die Beeren selbst wurden mit Schalen und Kernen genossen, und zwar ohne dass eine sorgfältige Zerkleinerung der letzteren oder ein sorgsames Kauen die in den Kernen enthaltenen Nährstoffe dem Organismus zugänglich gemacht hätte. Die Analyse der Weinbeeren (ohne Kämme und Stiele) ergab im Kilogramm frischer Beeren

N	N aus Eiweiss	Brennwert
1,23 g	0,88 g	800,3 Kal.

Wie aus der Tabelle ersichtlich, wurden an fünf Tagen Äpfel genossen, weil keine Trauben beschafft werden konnten. Es waren rotschalige Amerikaner von geringer Qualität und mehligem, nicht sehr süssem Geschmack. Dieselben wurden mit Schalen, aber ohne Stiele, Kerne und Gehäuse verzehrt und der Rückstand täglich zurückgewogen. Die Analyse des Materials, so wie es genossen wurde, ergab für 1000 g:

N	N aus Eiweiss	Brennwert
1,20 g	0,67 g	674,88 Kal.

Periode I.

Datum 1902	Körpergewicht	Bemerkungen	Art der Nahrung	N der Nahrung	Rein-Eiweiss-N d. Nahrung	N im Kot
	kg			g	g	g
30. Okt.	Nüchtern ca. 10h vorm. 53,610	Wohlbefinden. Dauerlauf 6h 10′ bis 6h 28′ a. und 9h 15′ bis 49′ p.	948 g frischer Trauben	1,16	0,83	1,20
31. „	—	81 g geformten Kotes. Wohlbefinden. Dauerlauf 5h 55′ bis 6h 13′ a. Beginn des Mischharns I.	939 g frischer Äpfel (rote Amerikaner)	1,13	0,63	1,17
1. Nov.	Nüchtern 12h 15′ vorm. 53,210	87 g geformten Kotes. Wohlbefinden. Dauerlauf 5h 55′ bis 6h 15′ früh.	952 g frischer Äpfel	1,14	0,64	1,18
2. „	—	Wohlbefinden. Dauerlauf von 1 deutschen Meile 9h 5′ bis 10h 7′ p.	971 g Trauben	1,19	0,86	1,23
3. „	Nüchtern 2h mittags 51,760	Dauerlauf 5h 52′ bis 6h 10′ früh. Puls vorher 59, nachher 95 in der Minute.	965 g „	1,19	0,85	1,23
4. „	Nüchtern 12h 52,400	77 g Kot. Ruhe-Respirations-Versuche von 12h bis 1¼h. Gang aus dem Krankenhaus bis zur landw. Hochschule.	971 g „	1,19	0,86	1,23
5. „	—	—	961 g „	1,18	0,85	1,22
6. „	—	—	597 g „	1,18	0,84	1,22
7. „	Nüchtern 1h 45′ 51,640	Fussschmerzen, kein Dauerlauf. Sonst Wohlbefinden 191 g Kot.	970 g „	1,19	0,85	1,23
8. „	Nüchtern 1h 15′ 50,630	79 g Kot.	928 g „	1,14	0,82	1,18
9. „	—	Bis auf die Fussbeschwerden beim Gehen Wohlbefinden.	974 g „	1,20	0,86	1,24
10. „	Nüchtern 1h 40′ 51,000	Sitzende Lebensweise. Sonst angeblich völliges Wohlbefinden. 1h 30′ bis 1h 40′ Ruhe-Resp.-Versuch im Institut. 441 g Kot vor dem Wägen.	963 g „	1,19	0,85	1,23
11. „	—	—	973 g „	1,20	0,86	1,24
12. „	50,270	—	975 g „	1,20	0,86	1,24
13. „	—	—	952 g fr. Äpfel (rote Amerikaner)	1,14	0,64	1,18
14. „	Nüchtern 1h 45′ p. 50,06	160 g Kot.	978 g Trauben	1,20	0,86	1,24
15. „	—	—	982 g „	1,21	0,87	1,25
16. „	Nüchtern 12h 15′ 49,930	112 g Kot.	972 g „	1,20	0,86	1,24
17. „	—	—	934 g Äpfel	1,12	0,63	1,16
18. „	Nüchtern 1h 45′ 49,600	355 g Kot.	947 g „	1,14	0,63	1,18
19. „	—	Ende des Mischharns I.	957 g Trauben	1,18	0,84	1,22
20. „	Nüchtern 1h 30′ 48,710	Vom 20. Nov. bis 3. Dez. ist der Brennwert des Harns rechnerisch festgestellt.	969 g „	1,19	0,85	1,23

Periode I.

Rein-Eiweiss-N im Kot	Resorbiert N	Resorbiert Rein-Eiweiss-N	Harn Gewicht	Harn spez. Gew.	N im Harn	N-Bilanz	Brennwert der Nahrung	Kalorien im Kot	Brennwert der resorb. Nahrung	Brennwert des Harns	Nutzbarer Energiegehalt der Nahrung
g	g	g	g		g		Kal.		Kal.	Kal.	Kal.
1,15	— 0,04	— 0,22	304	1017,5	2,55	— 2,59	758,68	178,60	580,08	33,85	546,23
0,87	— 0,04	— 0,24	468	1014,0	3,09	— 3,13	633,73	149,73	484,55	41,02	443,53
0,89	— 0,04	— 0,25	517	1011,5	2,96	— 3,00	642,50	151,25	491,25	39,30	451,95
1,19	— 0,04	— 0,33	586	1011,0	2,52	— 2,56	777,08	182,94	594,14	33,45	560,69
1,18	— 0,04	— 0,33	318	1024,0	2,76	— 2,80	772,28	181,80	590,48	36,64	553,84
1,19	— 0,04	— 0,33	351	1020,0	2,98	— 3,02	777,08	182,94	595,14	39,56	555,58
1 18	— 0,04	— 0,33	452	1015,0	2,97	— 3,01	769,08	181,05	588,03	39,43	548,60
1,16	— 0,04	— 0,32	394	1016,0	2,48	— 2,52	765,88	180,29	585,59	33,77	551,82
1,18	— 0,04	— 0,33	322	1017,0	2,23	— 2,27	776,28	182,74	593,54	29,60	563,94
1,14	— 0,04	— 0,32	518	1013,0	2,80	— 2,84	742,68	174,83	567,85	37,17	530,68
1,19	— 0,04	— 0,33	685	1010,0	2,68	— 2,72	779,48	183,50	595,98	35,58	560,40
1,18	— 0,04	— 0,33	490	1013,0	2,87	— 2,91	770,68	181,44	589,24	38,10	551,14
1,19	— 0,04	— 0,33	660	1010,5	2,93	— 2,97	778,68	183,31	595,37	38,90	556,47
1,19	— 0,04	— 0,33	496	1011,5	2,91	— 2,95	780,28	183,68	596,60	38,63	557,97
0,89	— 0,04	— 0,25	466	1012,5	3,22	— 3,26	642,50	151,25	491,25	42,75	448,50
1,19	— 0,04	— 0,33	682	1010,0	3,03	— 3,07	782,68	184,25	598,43	40,22	558,21
1,20	— 0,04	— 0,33	381	1015,0	2,61	— 2,65	785,88	185,00	600,88	34,65	560,23
1,19	— 0,04	— 0,33	479	1013,0	2,88	— 2,92	777,90	183,12	594,78	38,23	556,55
0,87	— 0,04	— 0,24	581	1011,0	3,16	— 3,20	630,34	148,73	481,61	41,95	439,66
0,87	— 0,04	— 0,24	640	1011,0	3,26	— 3,30	639,11	150,45	488,66	43,28	445,38
1,16	— 0,04	— 0,32	491	1012,5	2,51	— 2,55	765,88	180,29	585,59	33,32	552,27
1,18	— 0,04	— 0,33	349	1016,0	2,40	— 2,44	775,48	182,55	592,93	25,81	567,14

Periode I (Fortsetzung).

Datum 1902	Körper-gewicht	Bemerkungen	Art der Nahrung	N der Nahrung	Rein-Eiweiss-N d. Nahrung	N im Kot
	kg			g	g	g
21. Nov.	Nüchtern 1 h 48,585	Respirationsversuche v. 1 h 15′ bis 2 h 15′ bei Ruhe im Krankenhaus.	966 g Trauben	1,19	0,85	1,23
22. „	—	220 g Kot.	952 „ „	1,17	0,84	1,21
23. „	—	—	968 „ „	1,19	0,85	1,23
24. „	—	—	962 „ „	1,18	0,85	1,22
25. „	Nüchtern 1 h 47,970	Marschversuch auf der Tretbahn 2 h 4′ bis 3 h 8′.	956 „ „	1,18	0,84	1,22
26. „	—	101 g Kot. 1/2 Std. spazieren gegangen.	963 „ „	1,19	0,85	1,23
27. „	Nüchtern 1 h 30′ 47,535	1/2 Std. Spaziergang.	966 „ „	1,19	0,85	1,23
28. „	—	Mittags sitzend Puls 70, später 65, klein, unregelmässig. Temp. in der Achselhöhle 36,6 °. 1/2 Std. Spaziergang.	967 „ „	1,19	0,85	1,23
29. „	Nüchtern 1 h 46,870	1/2 Std. Spaziergang. 2 h 15′ bis 3 h 20′ Respirations-Ruheversuche im Krankenhaus.	966 „ „	1,19	0,85	1,23
30. „	—	Kot 91 g. Temp. abends 11 h im Bett 36,8 °. 1/2 Std. Spaziergang.	967 „ „	1,19	0,85	1,23
1. Dez.	Nüchtern 2 h 46,610	Respirations-Marschversuche von 3 1/2 bis 4 h. Kot 212 g. 1/2 Std. Spaziergang. Temp. 6 h abends 36,8 °. 9 1/2 h im Bett 36,8 °.	969 „ „	1,19	0,85	1,23
2. „	—	1/2 Std. Spaziergang.	976 „ „	1,20	0,86	1,24
3. „	—	Mittags 12 h Puls 72, voll, kräftig, wenn die Hand frei in der Luft gehalten wird; liegt die Hand ruhig auf, so sind es nur 62 Pulse. Der Puls etwas flatternd, von Zeit zu Zeit aussetzend. Wegen steigender Fussbeschwerden kein Spaziergang. Temp. abends 10 h 36,70 °.	974 „ „	1,20	0,86	1,24
4. „	Nüchtern 1 h 45′ 45,890	Kein Spaziergang. Ruhe-Respirationsversuch. Kot 36 g. Beginn des Mischharns II.	985 „ „	1,21	0,87	1,25
5. „	—	Kein Spaziergang wegen Fussschmerzen.	988 „ „	1,22	0,87	1,26
6. „	Nüchtern 2 h 45,430	Kein Spaziergang. 84 Puls sitzend, wenn der Arm frei gehalten wird. 80 Pulse bei aufgestütztem Arm. Kot 240 g.	987 „ „	1,21	0,87	1,25
7. „	—	—	982 „ „	1,21	0,87	1,25
8. „	Nüchtern 2 h 55′ 45,403	Arbeitsversuch im Institut von 3 h 50′ bis 4 h 30′.	981 „ „	1,21	0,86	1,25
9. „	—	Kot 345 g. Ende des Mischharns II.	984 „ „	1,21	0,87	1,25

Periode I (Fortsetzung).

Rein-Eiweiss-N im Kot	Resorbiert N	Resorbiert Rein-Eiweiss-N	Harn Gewicht	Harn spez. Gew.	N im Harn	N-Bilanz	Brennwert der Nahrung	Kalorien im Kot	Brennwert der resorb. Nahrung	Brennwert des Harns	Nutzbarer Energiegehalt d. Nahrung
g	g	g	g		g		Kal.		Kal.	Kal.	Kal.
1,18	— 0,04	— 0,33	460	1013,0	2,93	— 2,97	773,08	181,99	591,09	31,51	559,58
1,16	— 0,04	— 0,32	456	1011,5	2,80	— 2,84	761,88	179,35	582,53	30,11	552,42
1,18	— 0,04	— 0,33	442	1013,0	2,88	— 2,92	774,70	182,37	592,33	30,97	561,36
1,18	— 0,04	— 0,33	402	1013,5	2,70	— 2,74	769,90	181,24	588,66	29,03	559,63
1,16	— 0,04	— 0,32	385	1016,0	2,84	— 2,88	765,08	180,11	584,37	30,54	553,83
1,18	— 0,04	— 0,33	550	1012,0	3,33	— 3,37	770,68	181,44	589,24	35,81	553,43
1,18	— 0,04	— 0,33	403	1012,5	2,68	— 2,72	773,08	181,99	591,09	28,82	562,27
1,18	— 0,04	— 0,33	498	1012,0	3,01	— 3,05	773,90	182,18	591,72	32,37	559,35
1,18	— 0,04	— 0,33	512	1012,0	3,08	— 3,12	773,08	1 1,99	591,09	33,12	557,97
1,18	— 0,04	— 0,33	484	1012,0	3,01	— 3,05	773,90	182,18	591,72	32,37	559,35
1,18	— 0,04	— 0,33	291	1021,5	2,55	— 2,59	775,48	182,55	592,93	27,42	565,51
1,19	— 0,04	— 0,33	664	1010,0	3,78	— 3,82	781,08	183,87	597,21	40,65	556,56
1,19	— 0,04	— 0,33	448	1012,0	3,03	— 3,07	779,48	183,50	595,88	32,58	563,40
1,20	— 0,04	— 0,33	553	1010,5	3,17	— 3,21	788,30	185,57	602,73	33,27	569,46
1,20	— 0,04	— 0,33	575	1010,0	3,12	— 3,16	790,70	186,13	604,57	32,75	571,82
1,20	— 0,04	— 0,33	486	1011,0	3,03	— 3,07	789,90	185,95	603,95	31,80	572,15
1,20	— 0,04	— 0,33	534	1009,5	3,14	— 3,18	785,88	185,00	600,88	32,96	567,92
1,19	— 0,04	— 0,33	477	1009,0	2,80	— 2,84	785,10	184,82	600,28	29,39	570,89
1,20	— 0,04	— 0,33	372	1013,5	2,60	— 2,64	787,50	185,38	602,12	27,29	574,83

Periode II.

Datum 1902	Körpergewicht	Bemerkungen	Art der Nahrung	N der Nahrung	Rein-Eiweiss-N. d. Nahrung
	kg				
10. Dez.	Nüchtern 1 h 25′ 44,585	Brennwert d. Harns rechnerisch festgestellt (10.—15. Dez.).	451 g Trauben 549 „ Äpfel	1,18	0,75
11. „	—	—	940 „ „	1,13	0,63
12. „	3 h 44,750, nachdem um 10 h 1 Pfund Äpfel gegessen, also nüchtern 44,150	Ruhe- und Arbeitsversuche am Ergostaten im Institut von 3 h 50′ bis 5 h 45′, Temp. 9 ½ h abends 37,2°.	960 „ „	1,15	0,64
13. „	1 h 15′ nüchtern 44,070	Temp. morgens 6 ½ h 37,2; abends 9 ½ h 36,9°.	935 „ „	1,12	0,63
14. „	—	Temp. morgens 37°. Kot 60 g. Temp. abends 37,2°.	843 „ „	1,01	0,57
15. „	—	Kot 134 g. Temp. abends 36,8°. Nachts starker, kolikartiger Schmerz, der nach ca. 4 stündiger Dauer schwindet. Nachher Wohlbefinden.	960 „ „	1,15	0,64
16. „	2 h 15′, nachdem um 10 h 1 Pfund Äpfel gegessen, 43,985, also nüchtern 43,485	Temp. morgens 37,3°. Kot 126 g. Respirationsversuch in Ruhe von 2 h 30′ bis 4 h. Temp. abends 36,9°. Beginn des Mischharns III.	978 „ „	1,17	0,66
17. „	—	Temp. morgens 37°, abends 36,7°. Nachts völliges Wohlbefinden.	971 „ „	1,17	0,65
18. „	—	Temp. früh 36,8°, Puls 84, klein.	975 „ „	1,17	0,65
19. „	1 ½ h, nachdem um 10 ½ h 475 g Äpfel gegessen, 43,135, also nüchtern 42,660	Ruheversuch 2 h 15′ bis 3 h 20′, Temp. abends 36,8°.	975 „ „	1,17	0,65
20. „	—	Temp. 37,1° morgens, Puls 76, Temp. abends 36,6°. In der Nacht zwischen ½ 1 h bis ½ 2 h heftige Kolikschmerzen, ausstrahlend nach dem Rücken und der Seite, mit Blähungen und Gürtelgefühl.	976 „ „	1,17	0,65
21. „	—	Temp. früh 36,8°. Kot 167 g	979 „ „	1,18	0,66
22. „	2 h 45′ 42,650, nachdem um 10 h 1 Pfund Äpfel gegessen, also nüchtern 42,150	Arbeitsversuche am Ergostaten im Institut von 3 h 50′ bis 5 h 15′. Temp. abends 36,9°.	969 „ „	1,16	0,65
23. „	—	Temp. morgens 36,9°. Kot 44 g	976 „ „	1,17	0,65
24. „	—	Temp. abends 37°. H. geht heute und die folgenden Tage schon um 8 h zu Bette. Ende des Mischharns III.	973 „ „	1,17	0,65

Periode II.

N im Kot	Rein-Eiweiss-N im Kot	Resorbiert N	Resorbiert Rein-Eiweiss-N	Harn Gewicht	Harn spez. Gew.	N im Harn	N-Bilanz	Brenntwert der Nahrung	Kalorien im Kot	Brennwert der resorb. Nahrung	Brennwert des Harns	Nutzbarer Energiegehalt der Nahrung
g	g	g	g	g		g		Kal.		Kal.		Kal.
0,77	0,74	0,41	0,01	425	1011,5	2,76	— 2,35	731,44	85,43	646,01	37,17	608,84
0,74	0,62	0,39	0,01	389	1012,0	2,71	— 2,32	634,54	77,61	556,93	36,50	520,43
0,75	0,63	0,40	0,01	455	1011,0	2,67	— 2,27	647,89	79,25	568,64	35,96	532,68
0,73	0,62	0,39	0,01	611	1010,0	3,03	— 2,64	631,01	77,17	553,84	40,80	513,04
0,66	0,56	0,35	0,01	524	1010,0	2,63	— 2,28	568,93	69,58	499,35	35,42	463,93
0,75	0,63	0,40	0,01	287	1017,5	2,28	— 1,88	647,89	79,25	568,64	30,71	537,93
0,76	0,65	0,41	0,01	643	1009,0	2,84	— 2,43	660,04	80,72	579,32	38,25	541,07
0.76	0,64	0,41	0,01	580	1009,5	2,82	— 2,41	655,31	80,15	575,16	38,06	537,10
0,76	0,64	0,41	0,01	523	1011,0	3,05	— 2,64	658,00	80,48	577,52	41,07	536,45
0,76	0,64	0,41	0,01	612	1008,5	2,93	— 2,52	658,00	80,48	577,52	39,46	538,06
0,76	0,64	0,41	0,01	474	1011,0	2,78	— 2,37	658,69	80,56	578,13	37,44	540,69
0,77	0,65	0,41	0,01	630	1010,0	3,19	— 2,78	660,71	80,81	579,90	42,96	536,94
0,76	0,64	0,40	0,01	562	1011,0	2,80	— 2,40	653,96	79,98	573,98	37,71	536,27
0,76	0,64	0,41	0,01	487	1012,0	2,55	— 2,14	658,69	80,56	578,13	34,34	543,79
0,76	0,64	0,41	0,01	528	1013,5	3,42	— 3,01	656,66	80,31	576,35	46,06	530,29

Periode III (Fortsetzung).

Datum 1903	Körpergewicht	Bemerkungen	Art der Nahrung	N der Nahrung	Rein-Eiweiss-N. d. Nahrung
	kg			g	g
3. Jan.	—	Temp. morgens 36,5°. Kot 391 g. Temp. abends 36,5°.	488 g Äpfel Qual. II. (Deutsche Rauhschalen), 488 g Apfelsinen, 248 Feigen	3,56	2,21
4. "	—	Temp. morgens 36,0°, abends 36,5°. Mittags beim Zahnarzt.	496 g Äpfel Qual. I (Amer. Rauhschalen), 532 g Apfelsinen, 248 " Feigen	3,58	2,17
5. "	2½ h 41,470, nach Genuss von 570 g Obst. Also nüchtern 40,900	Temp. morgens 36,75°. Von 8 h bis 4 h Ruhe-Respirationsversuche im Krankenhaus.	470 g Äpfel III (rote Amerikaner), 542 g Apfelsinen, 248 g Feigen	3,59	2,14
6. "	—	Mitags Temp. 36,5°. Kot 410 g. Beginn des Mischharns IV.	473 g Äpfel I, 468 " Apfelsinen, 347 " Feigen	4,24	2,61
7. "	1 h 40′ 41,540 nach Genuss von 600 g Obst. Also nüchtern 40,940	Temp. morgens 36,5°. Kot 373 g (breiig). Temp. abends 36,5°. Nachm. beim Zahnarzt. Nachts Zahnschmerzen.	472 " Äpfel II, 514 " Apfelsinen, 347 " Feigen	4,40	2,73
8. "	—	Temp. morgens 36,5°, abends 36,5°.	487 " Äpfel I, 482 " Apfelsinen, 347 " Feigen	4,28	2,63
9. "	12 h 41,530 nach Genuss von 700 g Obst. Also nüchtern 40,830	Temp. morgens 36,5°, abends 36,7°. Ende des Mischharns IV.	478 " Äpfel III, 496 " Apfelsinen, 347 " Feigen	4,33	2,59
10. "	—	Temp. morgens 7½ h 36,5°. Kot Vormittag 374 g. Puls 2 h 112, voller als sonst bei nicht aufgestützter Hand; bei aufgestützter Hand 96. Temp. abends ½10 h 36,5°. Beginn des Mischharns V.	468 " Äpfel II, 514 " Apfelsinen, 347 " Feigen	4,39	2,73
11. "	1 h 41,005 nach Genuss von 100 g Obst. Also nüchtern 40,905	Temp. morgens 36,7°. Kot 184 g. Temp. abends 36,7°.	486 " Äpfel II, 504 " Apfelsinen, 347 " Feigen	4,39	2,74
12. "	—	Temp. morgens 36,5°. Kot 511 g, breiig, schleimig, stark stinkend. Temp. abends 36,5°.	286 " Äpfel, 700 " Apfelsinen, 347 " Feigen	4,48	2,65
13. "	—	Temp. morgens 36,6°. Abends 8 h 151 g Kot nach Klistier. Temp. abends 36,5°.	320 " Äpfel, 648 " Apfelsinen, 347 " Feigen	4,45	2,72
14. "	11 h nüchtern 40,690	Temp. morgens 36,5°. Schluss des Versuches.	—	—	—

Periode III (Fortsetzung).

N im Kot	Rein-Eiweiss-N im Kot	Resorbiert N	Resorbiert Rein-Eiweiss-N	Harn Gewicht	Harn spez. Gew.	N im Harn	N-Bilanz	Brennwert der Nahrung	Kalorien im Kot	Brennwert der resorb. Nahrung	Brennwert des Harns	Nutzbarer Energiegehalt der Nahrung
g	g	g	g	g		g		Kal.		Kal.		Kal.
1,29	1,09	2,27	1,12	642	1016,0	2,86	— 0,59	1386,31	162,48	1223,83	—	—
1,30	1,07	2,28	1,10	747	1016,0	3,25	— 0,97	1412,76	165,58	1247,18	—	—
1,30	1,05	2,29	1,09	499	1019,0	2,64	— 0,35	1373,32	160,95	1212,37	—	—
1,53	1,28	2,71	1,33	557	1017,0	2,85	— 0,14	1687,04	197,72	1489,32	53,86	1435,46
1,59	1,34	2,81	1,39	494	1023,5	2,70	+ 0,11	1707,61	200,13	1507,48	51,02	1456,46
1,55	1,29	2,73	1,34	523	1022,0	2,86	— 0,13	1703,77	199,69	1504,08	54,04	1450,04
1,57	1,27	2,76	1,32	515	1024,0	2,65	+ 0,11	1678,13	196,68	1481,45	50,08	1431,37
1,59	1,34	2,80	1,39	361	1027,5	2,07	+ 0,73	1704,70	199,79	1504,91	48,97	1455,94
1,59	1,35	2,80	1,39	377	1035,5	2,39	+ 0,41	1713,15	200,79	1512,36	56,54	1455,82
1,62	1,30	2,86	1,35	369	1033,0	2,18	+ 0,68	1643,57	192,63	1450,84	51,58	1399,36
1,61	1,34	2,84	1,38	358	1036,0	2,10	+ 0,74	1659,35	194,48	1464,87	49,68	1414,99
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Während der gesamten ersten Periode wurden demnach verabfolgt

	N	N aus Eiweiss	Kalorien
In der Nahrung	48,58 g	33,90 g	31097
Es waren im Kot enthalten	50,28 „ = 103,5% des Nahrungs-N	46,95 „ = 138% des Nahrungs-N aus Eiweiss	7321 = 23,54%
Es verblieben also im Körper resp. wurden von ihm abgeben. . .	—1,70 g	—13,5 g	23776
Im Harn wurden ausgeschieden während der gesamten Periode . .	118,28 „	—	
Bilanz	—119,98 g N.		

Es ergibt sich also ein Stickstoffverlust während der ersten Periode von 119,98 g. Nach üblicher Art berechnet, würde dies ca. 3,6 kg Fleisch ausmachen. Das Körpergewicht betrug am 30. Oktober 53,610 kg; am 10. Dezember, dem ersten Tage der II. Periode, 44,585 kg. Der Gewichtsverlust betrug also 9,025 kg. Wenn wir diesen, was wahrscheinlich berechtigt ist, als durch Fleisch- und Fettverlust bedingt ansehen, so würde sich nach Abzug der 3,6 kg Fleisch ein Verlust von 5,4 kg Fettgewebe ergeben. Die Bilanz der Kalorien dieser Tage betrachten wir am besten gesondert für die Tage, welche der Mischharn I umfasst, und diejenigen des Mischharns II. Es wurden gegeben in der Nahrung vom 31. Oktober bis 19. November 14790 Kalorien; im Kot dieser Tage fanden sich 3482 Kalorien, im Harn 755 Kalorien, also für die Leistungen des Körpers disponibel 10553 Kalorien in 20 Tagen. Das macht pro Tag 528 Kalorien.

In den Tagen vom 4. bis 9. Dezember:

gegeben	4727 Kal.
im Kot	1113 „
also verdaut	3614 Kal.
im Harn	188 „
also im Körper verwertbar	3426 Kal. = 571 Kal. pro Tag.

Die Nahrungszufuhr der ersten Periode ergibt pro Tag im Mittel $\frac{48,58}{41} = 1,18$ g Stickstoff, also pro Tag und Kilogramm Körpergewicht bei einem mittleren Gewicht von 49,1 kg 0,024 g N. Ferner pro Tag im Durchschnitt 758 Kalorien, also pro Kilogramm Körpergewicht 15,44 Kalorien, in der resorbierten Nahrung 11,81 Kalorien pro Kilogramm Körpergewicht. Aus der zugeführten Nahrung und dem Verluste an Eiweiss und Fett können

wir auch den Kraftverbrauch des Hauptmanns H. während dieser Periode berechnen. Diese Berechnung ist annähernd exakt zu nennen, weil, wie ich später zeigen werde, das Körpergewicht in unserem Versuche nur ganz vorübergehend durch Schwankungen des Wassergehaltes beeinflusst wird und daher mit ausserordentlicher Exaktheit den Ernährungszustand der Versuchsperson anzeigt. Den Stickstoffgehalt des Harns können wir fast seiner ganzen Menge nach auf zerfallenes Körperfleisch beziehen. Nach Frentzel und Schreuer[1]) unter Berücksichtigung der Fleischanalysen von Köhler[2]) kommen beim Zerfall von Fleisch auf jedes im Harn ausgeschiedene Gramm N 26,51 Kalorien. Es ergibt sich dann für die 41 Tage der I. Periode:

Verbraucht an Körperfleisch . . .	118,28 × 26,51 =	3 110 Kal.
„ „ Köperferfett (das Fettgewebe zu 90 % aus Fett gerechnet)	4 × 860 × 5 =	46 170 „
Im ganzen		49 280 Kal.
Oder pro Tag.		1 202 „
In der Nahrung an nutzbarem Brennwert		
Pro Tag im Mittel		555 „
Gesamtverbrauch pro Tag		1 757 Kal.

Davon 555 Kalorien = ca. 32 % in der Nahrung.

Auf alle weiteren Einzelheiten muss später im Zusammenhang eingegangen werden.

Nehmen wir nunmehr einen allgemeinen Überblick über die II. Periode, so erstreckte sich dieselbe vom 10. Dezember bis 30. Dezember inkl., also über 21 Tage. Im allgemeinen wurden täglich 1 kg Äpfel gereicht. Es war wiederum dieselbe Sorte roter Amerikaner, deren Analyse oben mitgeteilt ist. Am ersten Tage dieser Periode bestand die Nahrung aus Äpfeln und Trauben. Am 25., 26. und 27. Dezember gelangten auch getrocknete Feigen zur Verwendung, deren Analyse ergab in 1000 g Substanz:

N	N aus Eiweiss	Brennwert
8,14 g	5,18 g	3240,5 Kal.

1) Frentzel und Schreuer, Verbrennungswärme und physiologischer Nutzwert der Nährstoffe. Vier Abhandlungen. Engelmann's Arch. 1901—1903.

2) Köhler, Zur Kenntnis der elementaren Zusammensetzung und Verbrennungswärme der Muskelsubstanz. Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 31 S. 479.

In der II. Periode wurden gegeben:

	N	N aus Eiweiss	Kalorien
In der Nahrung	28,42 g	16,34 g	15 252
im Kot.	18,52 „ = 65 %	16,08 „ = 98 %	1 865 = 12,23 %
also verdaut. .	9,90 g	0,26 g	13 387
im Harn.	58,95 „		
Bilanz . . .	— 49,05 g, entsprechend einem Verlust von ca. 1,5 kg Muskelfleisch.		

Das Körpergewicht am 10. Dezember 44,585 kg, am 31. Dezember 40,79 kg, also Gewichtsverlust 3,885 kg. Dies ergibt, wie oben, einen Verlust von ca. 2,4 kg Fettgewebe.

Die Bilanz der Kalorien betrachten wir wiederum am besten für den Abschnitt der Periode II, in welcher der Brennwert des Harns experimentell festgestellt worden ist. Es sind dies die Tage vom 16. bis 24. Dezember. In dieser Zeit wurden eingeführt:

mit der Nahrung	5920 Kal.
es waren im Kot	724 „
also verdaut	5196 Kal.
im Harn	355 „
also zur Verfügung im Organismus	4841 Kal. in neun Tagen,
also pro Tag	538 „

In derselben Weise wie in der ersten Periode pro Tag und Kilogramm Körpergewicht berechnet, erhalten wir bei einem mittleren Körpergewicht von 42,688 kg: gegeben pro Tag im Mittel $\frac{28,42}{21}$ = 1,35 g N, das sind 0,032 g N pro Tag und Kilogramm Körpergewicht. An Kalorien wurde pro Tag gegeben $\frac{15\,252}{21}$ = 726 Kalorien; das sind 17 Kalorien pro Tag und Kilogramm in der Nahrung, und in der verdauten Nahrung 15 Kalorien.

In der II. Periode berechnet sich der tägliche Energieverbrauch folgendermassen:

Verlust an Stickstoff i. d. II. Periode	$49,05 \times 25,92$ =	1 272 Kal.
„ „ Körperfett	$2160 \times 9,5$ =	20 520 „
Im ganzen		21 792 Kal.
Oder pro Tag.		1 038 „
In der Nahrung pro Tag im Durchschnitt an nutzbarer Energie		538 „
Gesamtverbrauch pro Tag		1 676 Kal.

Davon in der Nahrung 538 Kalorien = 34 %.

In der III. Periode, vom 31. Dezember 1902 bis 13. Januar 1903, also in 14 Tagen, wurden eingeführt:

	N	N aus Eiweiss	Kalorien
	55,53 g	33,81 g	21 927
Im Kot . . .	20,09 g = 36,19 %	16,61 „ = 49 %	2 569 = 11,72 %
Also verdaut	35,44 g	17,20 g	19 358
Im Harn . .	35,75 „		
Bilanz. . . .	–0,31 g.		

Wie ersichtlich, war das Resultat dieser Periode wesentlich günstiger als das der vorhergehenden. Dieses Ergebnis wurde durch mehrere Umstände bedingt. Erstens nämlich war in dieser Periode die Nahrung nicht unwesentlich reicher, da pro Tag im Mittel 1566 Kalorien verabreicht wurden. Auch der Stickstoff ist mit 3,97 g pro Tag beträchtlich höher als in den vorhergehenden Perioden. Dies wird nicht nur durch die grössere Menge der Nahrung bewirkt, sondern vor allem auch dadurch, dass die Zulage zum Teil in Form von Feigen geschah, welche naturgemäss ein ausserordentlich viel konzentrierteres Nahrungsmittel abgeben als ungetrocknete Früchte. Denn während bei letzteren der Wassergehalt durchschnittlich etwa 80 % betrug, enthielten die Feigen nur etwa 15 % Wasser. Demzufolge repräsentieren denn auch 100 g Feigen mit dem Wassergehalte, mit dem sie zur Verwendung kamen, einen Brennwert von 324 Kalorien, während 100 g frischer Äpfel nur 64,5, 100 g Trauben 80 Kalorien enthielten. Hierzu kommt, dass die Ausnutzung, wie aus den angegebenen Daten hervorgeht, in dieser Periode eine wesentlich bessere war, als wir sie in den anderen gefunden haben. Dies liegt wohl im wesentlichen daran, dass die Haupteiweissträger, die Kerne, bei dem Genuss von Feigen zum grossen Teil zerbissen und dadurch der Verdauung zugänglich gemacht werden, während vornehmlich bei dem Genuss von Weintrauben die Kerne den Magendarmkanal unverändert passierten. Doch nicht nur reichhaltiger gestaltete sich die Nahrung der III. Periode, sondern auch mannigfaltiger und schmackhafter. Dies wurde erreicht ausser durch die Verwendung von Feigen durch abwechselnde Darreichung dreier verschiedener Sorten Äpfel, welche als Qualität I, II und III in der Tabelle gekennzeichnet sind. Qualität I waren amerikanische Rauhschalen, eine feine Qualität, welche durch ein ausserordentlich starkes Aroma und besondere Saftigkeit ausgezeichnet

war. Die Analyse ergab, auf frisches Material berechnet, für 1000 g:

N	N aus Eiweiss	Brennwert
1,12 g	0,786 g	728,43 Kal.

Beträchtlich feiner im Geschmack, aber weniger saftig waren die Äpfel der Qualität II, deutsche Rauhschalen. In 1000 g frischer Früchte waren hier enthalten:

N	N aus Eiweiss	Brennwert
1,28 g	0,968 g	728,17 Kal.

Als Qualität III sind die roten Amerikaner bezeichnet, welche schon in den früheren Perioden zur Verwendung gelangten.

Täglich wurden ferner Apfelsinen genossen, was zwar für die Nahrungszufuhr von geringerer Bedeutung, für den Wohlgeschmack der Kost aber sicher sehr wichtig war. Diese Apfelsinen waren von geringer Süsse; sie wurden von der Versuchsperson sehr sorgsam geschält und die Kerne nicht mitgenossen, so dass dieselben stets zurückgewogen werden mussten. Zur Analyse wurde Material verwendet, das vom Hauptmann H. in derselben sorgfältigen Weise, wie er es bei den für die Nahrung bestimmten Apfelsinen zu tun pflegte, präpariert wurde. Die Zusammensetzung der frischen Substanz war in 1 kg:

N	N aus Eiweiss	Brennwert
1,87 g	0,94 g	465,79 Kal.

Die Nahrungsmenge sowohl wie die Art der Ernährung war eine wechselnde. Wenn wir das Tagesmittel berechnen, so ergibt sich

N	N aus Eiweiss	Brennwert
3,97 g	2,415 g	1566 Kal.

Bei einem mittleren Gewicht von 40,894 kg erhalten wir pro Tag und Kilogramm:

N	N aus Eiweiss	Brennwert
0,097 g	0,059 g	38 Kal.

In der resorbierten Nahrung waren enthalten pro Tag:

N	N aus Eiweiss	Brennwert
2,53 g	1,23 g	1383 Kal.

Dies sind pro Kilogramm Körpergewicht:

N	N aus Eiweiss	Brennwert
0,062 g	0,03 g	34 Kal.

Durch die Verschiedenartigkeit der Nahrung zerfällt die Periode III ihrerseits in drei Teile, von welchen der erste (III a) vom 31. Dezember bis 5. Januar, der zweite (III b) vom 6. bis 9. Januar und der dritte (III c) vom 10. bis 13. Januar reichen.

In Periode III a wurden eingeführt:

	N	N aus Eiweiss	Kalorien
	20,57 g	12,41 g	8430
Im Kot	7,41 „	6,10 „	989
Verdaut	13,16 g	6,31 g	7441
Im Harn	15,95 „		nicht bestimmt
Bilanz	— 2,79 g	= ca. 84 g Fleischverlust.	

Das Tagesmittel der Nahrung enthielt also:

N	N aus Eiweiss	Kalorien
3,43 g	2,07 g	1405

Das mittlere Körpergewicht betrug 40,965 kg.

Pro Kilogramm Körpergewicht wurde also täglich mit der Nahrung eingeführt:

N	N aus Eiweiss	Kalorien
0,084 g	0,05 g	34

Die resorbierte Nahrung enthielt pro Tag:

N	N aus Eiweiss	Kalorien
2,19 g	1,05 g	1240

Und pro Kilogramm Körpergewicht:

N	N aus Eiweiss	Kalorien
0,053 g	0,026	30

In Periode III b gereicht in der Nahrung in vier Tagen:

	N	N aus Eiweiss	Kalorien
	17,25 g	10,56 g	6777
Im Kot	6,24 „	5,24 „	794
Resorbiert	11,01 g	5,32 g	5983
Im Harn	11,06 „	—	209
Bilanz	— 0,05 g		5774

Das Tagesmittel der Nahrung enthielt:

N	N aus Eiweiss	Kalorien
4,31 g	2,64 g	1694

Das mittlere Körpergewicht betrug 40,885 kg. Pro Kilogramm Körpergewicht wurde also gereicht:

N	N aus Eiweiss	Kalorien
0,10 g	0,065 g	41

In der resorbierten Nahrung pro Tag:

N	N aus Eiweiss	Kalorien
2,75 g	1,33 g	1443

Und pro Kilogramm Körpergewicht in der resorbierten Nahrung:

N	N aus Eiweiss	Kalorien
0,067 g	0,033 g	35

Stellt man die N-Bilanz der einzelnen Tage dieser Periode auf, so findet man, wie aus der Tabelle hervorgeht, am

6. Januar — 0,14,
7. „ + 0,11,
8. „ — 0,13,
9. „ + 0,11.

Daraus geht hervor, dass die negative Schlussbilanz der Per. III b von — 0,05 g N auf Zufälligkeit beruht und de facto während dieser vier Tage ein Schwanken um die Nullbilanz stattfindet, welche zeigt, dass das Stickstoffgleichgewicht knapp erreicht ist. Auch das Körpergewicht bleibt annähernd konstant. Der Energieverbrauch wurde also in Periode III b durch die nutzbare Energie der Nahrung ungefähr gedeckt. Dieselbe

betrug im ganzen 5774 Kalorien,
also pro Tag 1443 „

In der Schlussperiode dieses Versuches, vom 10. bis 13. Januar, wurde gegeben in der Nahrung

	N	N aus Eiweiss	Kalorien
	17,71 g	10,84 g	6721
Im Kot	6,41 g	5,33 g	788
Also verdaut	11,30 g	5,51 g	5933
Im Harn	8,74 g		207
Bilanz	+ 2,56 g		5727

entspr. einem Fleischansatz von ca. 77 g.

Im Mittel enthielt die Nahrung pro Tag:

N	N aus Eiweiss	Kalorien
4,43 g	2,71 g	1680.

Das mittlere Körpergewicht war 40,905 kg.

Es kamen daher in der täglichen Nahrung auf das Kilogramm Körpergewicht:

N	N aus Eiweiss	Kalorien
0,108 g	0,066	41.

In der resorbierten Nahrung waren täglich im Mittel enthalten:

N	N aus Eiweiss	Kalorien
2,825 g	1,38 g	1483.

Dies sind pro Kilogramm Körpergewicht:

N	N aus Eiweiss	Kalorien
0,069 g	0,034 g	36.

Ähnlich wie in Periode IIIb wurden in Periode IIIc 1483 Kal. täglich verbraucht, wobei der geringe Fleischansatz während dieser Periode nicht berücksichtigt ist. Der kleine Gewichtsverlust am 14. Januar ist durch reichlichere Kotentleerung bedingt.

Es ergibt sich also, dass während der III. Periode bei einer täglichen Zufuhr von 3,43 g N und 1405 Kalorien (0,08 g N und 34 Kalorien pro Kilogramm) noch ein Verlust an Eiweisssubstanz stattfand, bei einer Zufuhr von 4,31 g N und 1694 Wärmeeinheiten (0,10 g N und 41 Kalorien pro Kilogramm) der Organismus sich ins Gleichgewicht setzte, und schliesslich bei einer Zufuhr von 4,43 g N und 1680 Kalorien (0,11 g N und 41 Kalorien pro Kilogramm) ein deutlicher Ansatz von Körpersubstanz erfolgte. Bei der Bilanz ist dem insensiblen Verluste an Stickstoff nicht Rechnung getragen worden. Da die Lebensweise des Herrn H. vom Beginn der Fussbeschwerden an (7. November) eine sehr ruhige, die umgebende Temperatur niemals eine sehr hohe war, so dürfte eine Schweissabsonderung nur in äusserst geringem Masse vorgekommen sein. Es ist daher nicht anzunehmen, dass durch Nichtberücksichtigung der Stickstoffverluste durch Schweiss, Epidermisschuppen usw. im vorliegenden Falle ein nennenswerter Fehler begangen ist.

Den Verlauf des ganzen Versuches kann man zweckmässig auf der Kurve[1]) verfolgen. Es bedeutet auf derselben die schwarze ausgezogene Linie die Stickstoffbilanz, und zwar ist der Massstab derart gewählt, dass jeder Teilstrich der Ordinate 0,1 g Stickstoff entspricht[2]). Eine Folge dieses gross gewählten Massstabes sind die weiten Zacken der Kurve. Doch sind die Schwankungen im allgemeinen nicht grösser, als sie bei jedem derartigen Versuch von Tag zu Tag einzutreten pflegen. Dagegen bemerkt man deutlich eine Unregelmässigkeit. Es ist dies die ausserordentliche Zunahme des Stickstoffverlustes am 2. Dezember.

1) Siehe Tafel XI.

2) Die zugehörigen Zahlen stehen links auf der Tafel.

Zum Teil ist diese sicher durch eine vorhergehende Harnretention bedingt, wie die geringe Harnausfuhr vom 1. Dezember, die geringste der ganzen Periode, beweist (siehe Tabelle). Ob daneben am 2. Dezember noch durch irgendwelche besonderen Reize der N-Umsatz eine Erhöhung erfahren hat, war nicht festzustellen.

Man kann die Besserung der Bilanz deutlich beobachten mit dem Einsetzen der II. Periode am 10. Dezember, wo es bedingt ist durch die bessere Resorption der Nahrung. Dann bemerkt man sehr eklatant das Ansteigen der Bilanz am 26., 27. und 28. Dezember, bedingt durch die Verwendung von 199 g Feigen anstatt des gleichen Gewichtes Äpfel. Es ist nicht uninteressant, zu sehen, dass die Hebung der Kurve am 26., 27. und 28. statthat, während die vermehrte Zufuhr der Nahrung am 25., 26. und 27. stattfindet, so dass man also deutlich hier die durch vielfache Stoffwechselversuche festgestellte Tatsache bemerken kann, dass der Organismus für eine Veränderung der Diät meist erst am Tage nach der eingetretenen Veränderung den entsprechenden Ausschlag gibt. Wir sehen dann in der III. Periode ein sehr starkes Ansteigen der Stickstoffbilanz, welchem in Periode III b ein Schwanken um die Nulllinie, also Stickstoffgleichgewicht, in Periode III c der deutliche Ansatz folgt.

Die gestrichelte Kurve (---) bedeutet die Stickstoffzufuhr in der Nahrung. Hier entspricht ebenfalls jeder Teilstrich der Ordinate 0,1 g N, also derselbe Massstab wie in der Bilanzkurve.

Die punktierte Kurve (···) ist in gleichem Massstabe angelegt wie die gestrichelte. Sie gibt den resorbierten Stickstoff an[1]).

Die aus abwechselnden Punkten und Strichen bestehende Kurve (-·-·) zeigt die Kalorienzufuhr in der Nahrung, und zwar entspricht jeder Teilstrich 40 Kalorien[2]). Man sieht nun, wie die Bilanzkurve in ausserordentlicher Regelmässigkeit den Schwankungen der anderen Kurven folgt und besonders dort sehr fein auf dieselbe reagiert, wo Nahrungsstickstoff und Nahrungskalorienkurven gleichsinnig verlaufen, so z. B. am 13. November, am 18. November usw. Sehr deutlich tritt die Änderung der Stickstoffbilanz im Verhältnis zur Kalorien- oder Stickstoffzufuhr hervor beim Übergang zur II. Periode, bedingt durch die Besserung der Resorptionsverhältnisse. Sie folgt daher in diesem Abschnitte am ehesten der punktierten Kurve, welche den resorbierten Stickstoff angibt.

1) Die zugehörigen Zahlen für diese beiden Kurven stehen rechts.

2) Die Zahlen stehen rechts am Rand.

In der III. Periode sieht man beim Vergleichen aller Kurven mit besonderer Deutlichkeit, wie auch hier die Bilanzkurve gleichsinnigen Schwankungen der Kalorien- und Nahrungsstickstoffkurven folgt, aber mit einer gewissen Verzögerung.

Zum allgemeinen Überblicke des Versuches ist noch zu bemerken, dass der Hauptmann H. Getränke während dieses Versuches nicht zu sich genommen hat. Es erscheint dies auch von unwesentlicher Bedeutung, da die Nahrung ja ausserordentlich wasserreich war und er im Durchschnitt pro Tag etwa 800 ccm Wasser in den Früchten aufnahm.

Von grossem Interesse ist das Verhalten des Körpergewichts, dessen einzelne Daten aus der Tabelle zu entnehmen sind. Der Verlauf des Körpergewichts des ganzen Versuches wird durch die Kurve[1]) verdeutlicht. Es zeigt sich bei Betrachtung derselben, ein wie ausserordentlich feines Reagens die Veränderungen des Körpergewichts darstellen, wenn man, wie bei diesem Versuche, imstande ist, die Bedingungen, unter welchen dieses Körpergewicht zustande kommt, klar zu übersehen. Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, wurde das Körpergewicht durchaus nicht stets zur selben Stunde von mir festgestellt, wohl aber wusste ich bei jeder Bestimmung genau, welche Einnahmen und Ausgaben bis zur Wägung stattgefunden hatten, so dass ich für jeden Tag das Nüchterngewicht berechnen konnte. Es stellt sich so die Kurve des Körpergewichts während der ersten beiden Perioden als eine ausserordentlich regelmässige dar, und zwar in so hohem Masse, dass jede Abweichung von dem gleichmässigen Verlauf in der Tat durch das Verhalten der Versuchsperson eine befriedigende Erklärung findet. So sind die Abfälle am fünften und zehnten Tage des Versuches bedingt durch grössere körperliche Anstrengungen. Am 3. November war es der grosse Dauerlauf vom vierten Tage (2. November); am 8. November die durch das Gehen bei bestehenden Fussschmerzen am 7. November bedingte Anstrengung, welche augenscheinlich zu Schweissbildung und Wasserverlust führten. Die Richtigkeit dieser Anschauung geht auch mit Deutlichkeit aus der geringen Harnmenge am 3. und 7. November hervor, welche nur 318 bezw. 322 ccm betrug (siehe Tabelle). Nach dem Gewichtsabfall steigt denn auch stets das Körpergewicht der Versuchsperson an, allerdings nur so

---

1) Siehe Tafel XI.

weit, dass es durchaus im regelmässigen Verlaufe der Kurve unterhalb desjenigen Körpergewichtes bleibt, welches vor der grösseren körperlichen Anstrengung bestimmt wurde.

Das Stehenbleiben des Körpergewichts zwischen dem 26. und 28. Dezember ist durch die vorangehende Verwendung von Feigen erklärt. Es unterliegt nach dieser Betrachtung meiner Ansicht nach keinem Zweifel, dass die Kontrolle des Körpergewichts z. B. bei klinischen Versuchen zu Unrecht in Misskredit gekommen ist, und dass bei Beherrschung aller Nebenumstände der Verlauf der Körpergewichtskurve in befriedigendster Weise eine Unterstützung für die Beurteilung des Stoffumsatzes einer Versuchsperson resp. eines Patienten zu geben in der Lage ist. Dass dieses vorzügliche Resultat nicht auf Zufälligkeit beruht, dafür kann zum Beweise dienen, dass auch andere Forscher ein ähnlich feines Reagieren des Körpergewichts gefunden haben. Ich verweise auf die verblüffende Übereinstimmung zwischen berechneter und tatsächlicher Gewichtszunahme in den Mastversuchen Pflügers[1]).

Diskussion der Frage nach der Wertigkeit vegetarischer Ernährung auf Grund des vorliegenden Materials.

Nachdem wir so in grossen Zügen das vorliegende Versuchsmaterial an uns haben vorübergehen lassen, wollen wir nunmehr die Folgerungen aus demselben ziehen, indem wir an der Hand der alten und neuen Versuche die Bedeutung der vegetarischen Diät diskutieren. Es erscheint am praktischsten, dass man dabei der Reihe nach alle diejenigen Punkte betrachtet, in welchen sich die vegetarische Diätform wesentlich von der gewöhnlichen gemischten Kost unterscheidet, und sich die Frage vorlegt, ob diese Ernährungsform gegenüber der gemischten Diät wesentliche Nachteile oder in der einen oder anderen Beziehung auch wesentliche Vorteile zu gewähren imstande ist.

Die Ausnutzung der vegetarischen Kost.

Derjenige Einwand, welcher am klarsten aus allem bisher vorhandenen Versuchsmaterial in das Auge springt, ist die schlechte Ausnutzung der gegebenen Nahrung. Die schlechte Ausnutzung betrifft dabei in erster Linie das Eiweiss. Dies ist gerade bei der

1) Über Fleisch- und Fettmästung. Pflüger's Arch. Bd. 52 S. 67. 1892.

vegetarischen Kost eine ganz besonders unangenehme Erscheinung, weil sich ja dieselbe überhaupt durch einen verhältnismässigen Mangel an Eiweisssubstanzen auszeichnet, worauf wir später einzugehen haben werden. Um die Ausnutzung der Kost bei vegetarischer und nichtvegetarischer Diät miteinander zu vergleichen, habe ich die folgende Tabelle zusammengestellt, aus welcher sich mit Deutlichkeit ergibt, dass selbst bei der besten Ausnutzung vegetarischen Nährmaterials die schlechteste Ausnutzung gemischter Kost kaum erreicht wird.

Stickstoffausnutzung.

Es finden sich im Kot in Prozenten des Nahrungsstickstoffs

bei vegetarischer Kost:		bei gemischter Kost:	
Voit u. Constantinidi	40,73	Plasmon-Versuch Caspari	10,62
Kellner und Mori	24,29	„ „ „	5,18
Kumagawa	19 bez. 25	„ „ „	4,27
Rumpf und Schumm	33,93	Selbstversuch Löwy	19,8
Albu	32,79	„ Müller	13,7
Taniguti	20,15	„ Caspari	8,75
„	20,26	„ „	11,77
„	18,27	„ Zuntz	11,1
„	22,96	„ „ (Somatose)	18,5
Hauer	38,00	Versuche an marsch. Soldaten (Zuntz und Schumburg)	8,48
Caspari und Glässner	26,10		11,61
„ „	24,21	Atwater und Benedict im	
Versuch an Hauptmann H.		Mittel von 50 Versuchen	9,2
Periode I	103,5 (138)[1]	Maximum	16,4
„ II	65,0 (98)	Minimum	3,2
„ III	36,19 (49)		

Ich habe bei der Zusammenstellung von Beispielen für die Ausnutzung gemischter Nahrung absichtlich auch solche berücksichtigt, welche eine aussergewöhnliche schlechte Resorption besonders der Eiweisssubstanzen zeigen. Hierher gehört der Selbstversuch von Löwy, bei welchem 19,8 % des Stickstoffs im Kot wiedererschienen — hier wurde die schlechte Ausnutzung durch einen Darmkatarrh bedingt —, und ferner der Selbstversuch von Zuntz, welcher unternommen wurde, um die Wirkung der Somatose zu untersuchen, und bei der gerade die resorptionsschädigende Wirkung der Albumosen besonders eklatant hervortrat.

Die Gründe für die schlechte Ausnutzung vegetarischer Kost

1) Die eingeklammerten Zahlen geben die gleichen Werte für das nach Stutzer bestimmte Rein-Eiweiss.

sind mannigfaltiger Natur. Erstens nämlich wird die schlechte Ausnutzung der vegetarischen Ernährung bedingt durch den hohen Zellulosegehalt der Nahrung. Da besonders die eiweisshaltigen Substanzen der Pflanzen in Zellulosehüllen eingeschlossen sind, die letzteren aber von den Verdauungssekreten des Menschen nicht oder sicher nur in geringem Maasstabe angreifbar sind, so ergibt sich schon daraus, dass gerade die Eiweissausnutzung eine schlechte sein muss. Wie ausserordentlich für die Ausnutzung eines Nährmaterials der Gehalt an Zellulose mitspricht, dafür sind die Versuche von Plagge und Lebbin[1]) über das Soldatenbrot ein besonders augenfälliger Beweis. Aus diesen Versuchen geht hervor, wie die Ausnutzung eines Brotes Schritt für Schritt eine schlechtere wird mit der Vermehrung des Kleiegehaltes.

Doch scheint mir die schlechte Resorption, soweit sie durch den Zellulosegehalt der Nahrung bedingt ist, kein unüberwindliches Hindernis gegen die Verwendung vegetarischer Diät zu sein. Wir wissen aus zahlreichen Versuchen, wie viel besser ein pflanzliches Material ausgenutzt wird, wenn wir dasselbe in Püreeform geniessen. Das geht z. B. aus den Versuchen von Constantinidi[2]) für die Kartoffel hervor. Natürlich tritt bei dem strengen Rohkostvegetarier der Umstand, dass die Nahrung durch ihren Reichtum an Zellulose einer günstigen Ausnutzung hinderlich ist, mit ganz besonderer Schärfe hervor und könnte nur allenfalls durch sehr sorgfältige Zerkleinerung des Materials einigermassen gemindert werden. Doch würden sich wohl auch hierzu die gewissenhaftesten Rohkostler kaum verstehen. Fällt doch selbst eine feine Zermahlung in das Gebiet der Zubereitung der Nahrungsmittel, durch welche dieselben künstlich verändert werden.

Ein zweiter Umstand, welcher bei der schlechten Ausnutzung der stickstoffhaltigen Bestandteile bei vegetarischer Kost in Betracht kommt, ist folgender: Wir sind gewohnt, bei der Bilanzaufstellung den Stickstoff des Kotes derartig zu verwerten, dass wir annehmen, er stelle den unverdauten Nahrungsstickstoff dar. Dabei wissen wir natürlich, und es ist von zahlreichen Autoren darauf hingewiesen worden, dass diese Annahme faktisch nicht richtig ist, der Stickstoff

1) Veröffentlichungen aus dem Gebiete des Militärsanitätswesens. Herausgegeben von der Medizinalabteilung des Kgl. preuss. Kriegsministeriums. Berlin 1897.

2) Zeitschr. f. Biol. Bd. 23 S. 453. 1887.

des Kotes vielmehr sich aus zwei Bestandteilen zusammensetzt, von denen der eine allerdings auf unverdauten Nahrungsstickstoff zurückzuführen ist, während die andere Komponente den mit dem Kote ausgeschiedenen Verdauungssekreten zukommt. Für die Bilanzaufstellung des Stickstoffes kommt der Unterschied nicht wesentlich in Betracht, weil ja auch der Stickstoff aus den Verdauungssekreten einen Verlust an Körperstickstoff bedeutet. Für die Feststellung der Ausnutzung können wir ebenfalls diese Komponente des Kotstickstoffs meist vernachlässigen, weil bei reichlicher Stickstoffzufuhr der N-Gehalt der mit dem Kot ausgeschiedenen Verdauungssekrete nicht wesentlich in Betracht kommt und bei der Berechung der prozentischen Ausnutzung des Nahrungsstoffes eine erhebliche Rolle kaum spielen kann. Ganz anders verhält es sich aber, wenn, wie fast stets bei vegetarischer Diät, die Stickstoffzufuhr in der Nahrung eine ausserordentlich geringe ist, während die Absonderung von Darmsekret kaum eine herabgesetzte, ja sogar, wie nicht unwahrscheinlich, durch den Reiz der stark zellulosehaltigen Nahrung eine vermehrte ist. Dass der Stickstoff des Kotes nicht allein auf unresorbierten Stickstoff der Nahrung zurückzuführen sein kann, geht ja deutlich aus der I. Periode des Versuches am Hauptmann H. hervor, bei welchem mehr Stickstoff im Kot erschien, als in der Nahrung verabfolgt wurde. Dieser Fall ist nicht einzig dastehend. So hat Rubner[1]) über einen Versuch berichtet, in dem bei einer Nahrung, welche aus einem Kuchen aus Stärkemehl, Zucker und Schmalz unter Zugabe von etwas leichtem Rheinwein bestand, pro Tag 1,36 g N eingeführt und im Kot 1,39 g N ausgeschieden wurden. Rubner bezieht diese 1,39 g N ganz auf Darmsekret.

Ähnliche Versuche hat dann Rieder[2]) bei stickstofffreier Kost aus Stärkemehl, Zucker und Schmalz angestellt. Er fand im Kot

0,54 g N
0,87 „ „
0,78 „ „

und mittelt daraus den Wert von 0,73 g N, aus Darmsekreten stammend. Auch Praussnitz[3]) und Tsuboi[4]) haben sich mit dieser Frage beschäftigt. Letzterer stellte bei einem Hunde fest,

1) Zeitschr. f. Biol. Bd. 14 S. 198. 1879.
2) Zeitschr. f. Biol. Bd. 20 S. 378. 1884.
3) Zeitschr. f. Biol. Bd. 35 S. 335. 1897.
4) Zeitschr. f. Biol. Bd. 35 S. 68. 1897.

dass bei absolutem Hunger der tägliche Kotstickstoff 0,14 g betrug, bei einer Nahrung von 70 g Stärke, 50 g Fett und 12 g Zucker 0,24 g, bei einer solchen von 200 g Stärke, 80 g Fett und 25 g Zucker 0,57 g N. Schon aus dieser Zusammenstellung geht klar hervor, dass auch bei stickstofffreier Kost der Stickstoffgehalt des Kotes ein ausserordentlich wechselnder ist, augenscheinlich abhängig von der Menge und Art der zugeführten Nahrung, wie dies ja auch bei der Abhängigkeit der Absonderung der Verdauungssekrete von der Nahrung gar nicht anders zu erwarten ist. Es erscheint daher unmöglich, eine auch nur annähernde Norm zu finden, welche uns gegebenen Falles den Stickstoffgehalt des Kotes in seine beiden Bestandteile: Nahrungsrückstand und Darmsekret, zu sondern erlaubt.

Doch können wir uns für die I. Periode der Ernährung unseres Vegetariers einigermassen ein Bild davon machen, wieviel von der im Kot ausgeschiedenen Stickstoffmenge auf Restbestandteile des Darmsekretes zurückzuführen ist.

Es wurde oben erwähnt, dass es unmöglich war, die Trauben in toto zu trocknen und solchergestalt für die Analyse vorzubereiten. Vielmehr mussten dieselben ausgepresst und Traubensaft und Traubentrester gesondert untersucht werden. Nun kann man zweifellos, ohne einen grösseren Fehler zu begehen, annehmen, dass die Nahrungsrückstände im Kot im wesentlichen Schalen und Kerne waren. Das ergab auch das makroskopische Aussehen des Kotes, welcher ganz aus unveränderten Schalen und Kernen bestand, die durch eine bräunlich-schleimige Masse zusammengehalten wurden. Andrerseits kann man wohl mit ziemlicher Sicherheit annehmen, dass der Traubensaft, dessen Bestandteile ja leicht resorbierbar sind, in vollkommenster Weise vom Organismus ausgenutzt wurde. Die Analyse der Weintrauben ergab nun, dass 77 % des Stickstoffes in den Schalen und Kernen, 23 % desselben im Saft enthalten waren. Es wurden nun von 41 Tagen in der I. Periode an fünf Tagen, wie aus der Tabelle zu ersehen, Äpfel, an 36 Tagen Trauben gereicht. In den Äpfeln der fünf Tage waren enthalten 5,67 g N. Aus der II. Periode, deren Nahrung im wesentlichen aus Äpfeln bestand, geht hervor, dass von den Äpfeln ca. 65 % des N im Kot wiedererschienen. Es würden demnach den 5,67 g N in den Äpfeln 3,69 g N im Kot entsprechen. Wenn wir dieses in Abzug bringen, so erhalten wir während der 36 Tage auf 42,91 g N in der Nahrung 46,59 g N im Kot. Von den 42,91 g N der Nahrung sind 77 %, d. h.

33,04 g in den Schalen und Kernen, enthalten. Ziehen wir diese 33,04 g N von den 46,59 g Kotstickstoff ab, so erhalten wir 13,55 g N im Kot der 36 Tage, welche vermutlich aus Darmsekret herrühren. Das entspricht etwa 0,38 g N pro Tag aus Darmsekret oder etwa 29,1 % des Kotstickstoffs. Man ersieht daraus, dass die schlechte Verdaulichkeit des Eiweisses bei vegetarischer Diät zum Teil wohl nur vorgetäuscht ist durch die Ausscheidung der Darmsekrete, die bei dem absolut niedrigen Stickstoffgehalte der Nahrung in weit höherem Masse als bei gewöhnlicher Kost ins Gewicht fällt.

Reizlosigkeit der vegetarischen Kost.

Bei der schlechten Ausnutzung der vegetarischen Diät im allgemeinen spielt aber wohl zweifellos ausser dem hohen Zellulosegehalt, dessen Nachteil sich ja bis zu einem gewissen Grade vermeiden lässt, noch ein anderer Umstand mit, dessen hohe Bedeutung uns erst die Erfahrungen der letzten Jahre klar vor Augen geführt haben. Es ist dies die Reizlosigkeit und Einförmigkeit der vegetarischen Ernährungsweise. Man war früher der Ansicht, dass die Absonderung der Verdauungssekrete im wesentlichen abhängig sei von der Einführung der Nahrung, und dass die mechanische Reizung der Wände des Verdauungskanals genüge, um eine Absonderung der verdauenden Sekrete herbeizuführen. Heute wissen wir durch die Versuche Pawlows und seiner Schüler, in wie eminentem Grade die Sekretion der Verdauungssäfte bedingt ist durch die nervösen und psychischen Funktionen, welche wir als Appetit zu bezeichnen pflegen. Nun behauptet ja der Vegetarier stets, dass seine Kost ausserordentlich schmackhaft sei, und es lässt sich wohl auch nicht leugnen, dass sich durch Variation des Speisezettels eine gewisse Abwechslung herbeiführen lässt, besonders durch Verwendung wohlschmeckender, vielfach sehr aromatischer Früchte. Im allgemeinen wird man aber zugeben müssen, dass die vegetarische Kost im Gegensatze zu der gemischten vieler Würzen und Appetitreize entbehrt. Wir wissen auch von all denjenigen Völkern, welche vorwiegend vegetabilisch leben, — die Existenz rein vegetarisch lebender Volksstämme hat, wie mir von Fachleuten versichert wurde, bisher niemals nachgewiesen werden können —, dass dieselben mit ausserordentlichem Eifer sich animalische Kost terrestrischer oder maritimer Herkunft zu verschaffen suchen, und zwar scheint ihr Bedürfnis nach Fleischnahrung weniger bedingt zu sein durch die

Eiweissarmut ihrer Nahrung als vielmehr durch die Reizlosigkeit derselben. In dieser Beziehung verdanke ich Herrn Prof. von den Steinen einige sehr interessante Mitteilungen, aus denen ich folgendes anführen möchte: Herr von den Steinen schreibt mir:

„Auf den Marquesas lautet das Wort, von dem ich Ihnen sprach, inai, und dass ich nicht ganz unrecht hatte, es in der Erinnerung zunächst mit ‚Würze' zu übersetzen, ersehen Sie aus der Übersetzung eines kleinen französischen Wörterbuchs: inai: assaissonner, met d'assaissonnement. Hier ist immer etwas Fisch oder maritime Nahrung gemeint, wie ich bestimmt weiss, die dem Brotfruchtpudding, dem Nationalgericht, zugesetzt wird, und die den Leuten dringend erwünscht ist. Dasselbe Wort existiert auch bei den übrigen Polynesiern. So sagt das tahitische Wörterbuch: inai ‚anything to eat with bread or vegetables, such as pork, fish or fowl', fügt dann aber hinzu: ‚also bread or vegetables to accompany flesh!' Ursprünglich bedeutet es vielleicht nur Zusatzspeise; so in Neuseeland: kinaki (die alte Form von inai): ‚food eaten with other food; to eat one kind of food withanother'."

Wir finden denn auch, dass diejenigen Völker, welche bei hochentwickelter allgemeiner Kultur einer vorwiegend vegetabilischen Diätform huldigen, in ausserordentlich geschickter Weise diesem Mangel der vegetabilischen Kost zu begegnen sich bemüht haben. Hier sind in erster Linie die Japaner zu nennen. Wenn auch heutzutage eine rein vegetarische Diätform in Japan nicht mehr in grösserer Ausdehnung vorzukommen scheint, so nähren sich doch auch hier die unteren Volksschichten im wesentlichen von Reis, welchem sie nach Kräften andere Zukost pflanzlicher und, wo sie können, animalischer Form beigeben. Zwar hat Bälz-Tokio [1]) behauptet, dass Millionen Japaner vegetarisch leben. Im weiteren Verlaufe seiner Mitteilung schränkt Bälz jedoch seine Behauptung wesentlich ein, indem er von seinen Vegetariern sagt:

„Aber auch diese Leute essen, wenn sie etwas Geld haben, Fleisch und Fische, nicht, um sich kräftig zu machen, sondern weil die reichen Leute es essen."

Der erwähnten Angabe von Bälz ist auch von anderer Seite

1) Über vegetarische Massenernährung und über das Leistungsgleichgewicht. Berl. klin. Wochenschr. Bd. 38 Nr. 26. 1901.

widersprochen worden. So von Herrn Geh. Rat Dönitz, welcher gleich Herrn Bälz viele Jahre lang in Japan gelebt hat, gesprächsweise, und auch japanische Kollegen, welche ich um Auskunft ersuchte, haben mir die Ansicht des Prof. Bälz nicht bestätigen können. Desgleichen hat Herr Prof. Grünwedel, Leiter der asiatischen Abteilung des Museums für Völkerkunde, eine rein vegetabilische Diät in dem von uns in der Einleitung näher präzisierten Sinne, wie für die anderen buddhistischen Völker, so auch für die Japaner in Abrede gestellt. Speziell leugnet dieser Herr auch die von Bälz angeführte Behauptung, dass bei den indischen Brahminen der Vegetarismus sehr streng gehalten werde. Dennoch wird man, wie gesagt, nicht daran zweifeln dürfen, dass für den unbemittelten Japaner Reis, Bohnen und Rüben den Grundstock der Ernährung bilden, wie ja auch in anderen Ländern bei den unbemittelten Klassen die vegetabilischen Komponenten der Nahrung die animalischen beträchtlich zu überwiegen pflegen. Dies geht auch aus den Angaben von Eijkman[1]) hervor, welcher für die Insassen eines Gefängnisses in Tokio eine rein pflanzliche Kost angibt, und ebenso aus denen von Tawara[2]), welcher mitteilt, dass in einem grossen Kaufhause in Tokio den Bediensteten wenigstens an drei Beobachtungstagen keine animalische Nahrung geboten wurde. In den übrigen von Tawara auf die Beköstigung der Insassen geprüften Anstalten wurde dagegen stets gemischte Kost mit Fisch oder Rindfleisch verabfolgt. Jedenfalls hat es nun aber der Japaner verstanden, aus seiner vegetabilischen Nahrung unter Benutzung von Sprosspilzen sehr angenehme Geschmacksstoffe zu bereiten, und so stellt das japanische Miso und Schoju in der Tat sehr schmackhafte Speisen dar. Diese höhere Zufuhr von Reizstoffen ist neben der Wahl des gut resorbierbaren Reises als Grundstock der vegetarischen Diät vielleicht nicht ohne Bedeutung für die verhältnismässig günstigen Resultate, welche Taniguti und Kumagawa bei ihren Versuchen für die Ausnutzung des Nahrungsstickstoffs erhielten, die besten, welche für die Stickstoffausnutzung bei vegetarischer Kost bisher festgestellt wurden Es kann das nicht daran liegen, dass die Japaner besonders an vegetabilische Kost gewöhnt wären; denn aus den zitierten Versuchen von

1) Zitat nach Kellner und Mori, l. c. S. 106.
2) Ebenda S. 107 ff.

Voit und Constantinidi geht wohl mit Klarheit hervor, dass ein Unterschied in der Ausnutzung vegetarischer Kost, etwa in Folge Gewöhnung an Zelluloseverdauung, zwischen einem gewohnten Vegetarier und einem vorübergehend vegetarisch lebenden Gemischtkostler nicht besteht. Dass übrigens auch der Japaner gegen die Einförmigkeit vegetarischer Kost empfindlich ist, ergibt sich daraus, dass Taniguti in seiner ersten Versuchsreihe bei reiner Reiskost sich genötigt sah, Fleischextrakt, das verpönte Reizmittel der animalischen Ernährungweise, der Nahrung zuzusetzen.

Volumen der vegetarischen Kost.

Ein weiterer Einwand verwirft die vegetarische Kost als unzweckmässig wegen des grossen Volumens an Nährmaterial, das dem Körper zugeführt werden muss, um eine ausreichende Ernährung des Individuums mit rein vegetarischer Diät zu erreichen. Das Volumen der Nahrung ist für denjenigen, welchem es an Zeit für die Speiseaufnahme gebricht, sicherlich kein gleichgültiger Faktor, wie Rubner[1]) in seiner Physiologie der Nahrung und Ernährung klar auseinandergesetzt hat. Er weist dabei darauf hin, dass die Dehnung der Magenwandung, welche durch die allzu voluminöse Kost bedingt wird, die motorische Tätigkeit des Magens herabsetzt, zu Dyspepsien und anderen Verdauungsbeschwerden führen muss. Auch das Gefühl der Überfüllung, das besonders beim Übergang von einer weniger voluminösen zu einer sehr voluminösen Kost eintritt, erzeugt Ekel und Überdruss. Ausserdem erscheint es aber auch durchaus nicht ausgeschlossen, dass die Ausnutzbarkeit einer voluminösen Kost derjenigen einer weniger massigen Ernährung nachsteht. Denn man kann sich leicht ein Bild davon machen, dass, wenn grössere Anhäufungen von Nahrung im Verdauungskanal stattfinden, der Zutritt der Verdauungssäfte zu den der Wandung des Magendarmschlauches nicht anliegenden Nahrungsbestandteilen ein erschwerter ist. Dieser Einwand würde gerade bei einer vegetarischen Diät, bei welcher, wie wir gesehen haben, die Ausnutzbarkeit der Nahrung überhaupt eine zweifellos herabgesetzte ist, doppelt schwer ins Gewicht fallen.

Das grosse Volumen einer vegetarischen Nahrung zeigt sich besonders gut an den Versuchen Mori's, wie oben angeführt wurde.

---

1) Leyden's Handbuch der Ernährungstherapie S. 135. Thieme's Verlag, Leipzig.

Auch die Kost des Vegetariers K. war sehr voluminös, freilich auch überreichlich. Sie enthielt z. B. am fünften Versuchstage:

20 g Gerstenkaffee,
75 „ Zucker,
242 „ Datteln,
102 „ Nüsse,
179 „ Leinöl,
1246 „ Kartoffeln,
30 „ Karotten.

Eine so voluminöse Kost wird, wie Rubner mit Recht hervorhebt, besonders bei den nicht daran Gewöhnten Trägheit und Unlust zur Arbeit hervorrufen. Andrerseits legt aber der Umstand, dass meist ein grosses Volumen der Nahrung notwendig ist, um eine ausreichende Ernährung des Vegetariers herbeizuführen, die Gefahr ausserordentlich nahe, dass vegetarisch sich ernährende Personen ihr Nahrungsbedürfnis in unvollkommener Weise decken. Ist doch unser Sättigungsgefühl kein absolut sicherer Regulator für die genügende Nährkraft der Kost, und so kann man das angenehme Gefühl der Dehnung der Magenwände, welches uns die Empfindung des Sattseins vermittelt, herbeiführen, wenn man den Magen mit schlecht resorbierbarer zellulosehaltiger Nahrung anfüllt und so das subjektive Gefühl der Sättigung dazu benutzt, den Organismus um seine ausreichende Ernährung zu betrügen. Ist doch selbst nach dem übereinstimmenden Zeugnis aller Fastenkünstler das Hungergefühl eine vorübergehende Erscheinung, die nach einigen Tagen schwindet. In die Kategorie dieser mangelhaft ernährten Personen gehört zweifellos die Versuchsperson Albus und der Hauptmann H. Ebenso ist aber auch der schlechte Ausfall der Versuche von Mori hier zu erwähnen, welcher die genügende Menge Nahrungsmaterial nicht aufzunehmen imstande war, obgleich er sich der Unzulänglichkeit der aufgenommenen Kost wohl bewusst war.

Einsichtige Vegetarier haben nun selbst die schlechte Ausnutzbarkeit und das hohe Volumen ihrer Diätform als unzweckmässig empfunden, und diese Erwägung hat einen ihrer amerikanischen Vorkämpfer, Dr. Kellogg, dazu bewogen, Nährpräparate aus rein vegetarischen Bestandteilen darzustellen, welche jetzt auch in den Kreisen deutscher Vegetarier unter den schönen Namen „Bromose“ und „Protose“ sich einer ziemlich weiten Verbreitung erfreuen. Dieselben beruhen darauf, dass Körnerfrüchte und hauptsächlich

verschiedene Nussarten in fein zermahlenem bezw. gemalztem Zustande dargereicht werden, wodurch sie der Verdauung ausserordentlich viel besser zugänglich werden. Demzufolge repräsentiert naturgemäss die Gewichtseinheitsubstanz auch einen höheren Nährwert, wodurch das Volumen der zur ausreichenden Ernährung notwendigen Kost ein wesentlich geringeres wird.

In ähnlicher Weise verwenden diese Anhänger des Vegetarismus Öle und Pflanzenbutter, ebenso aus feinst zermahlener Körnerfrucht hergestellte Backware (Gluten, Granola, Granose). Wenn man auch mit Albu zugeben muss, dass mit dieser vegetarischen Diätform ein Einlenken derselben in die Bahn einer rationellen Ernährung gegeben ist, so wird man doch demselben Autor zustimmen müssen, wenn er dartut, dass damit die strengste Form des Vegetarismus, welche eine Zubereitung der Speisen überhaupt verwirft, durchbrochen wird. Infolgedessen wollen auch die reinen Rohkostvegetarier, wie z. B. der Hauptmann H., wenig von diesen Präparaten wissen, deren Schmackhaftigkeit sie meiner Meinung nach mit vollem Rechte energisch bestreiten [1]).

Eiweissarmut der vegetarischen Kost.

Ein weiterer vielfach betonter Einwand gegen die vegetabilische Kost ist ihre Eiweissarmut, welche ganz besonders noch durch die schlechte Ausnutzung des Eiweisses verstärkt wird. Die Frage nach der Zulässigkeit einer eiweissarmen Diät hängt innig zusammen mit derjenigen nach dem Eiweissminimum überhaupt, d. h. der Frage nach der untersten Grenze des Eiweissbedarfs. Ich selbst habe seinerzeit mich mit dieser Frage beschäftigt [2]) und bin zu dem Ergebnis gekommen, dass es verfehlt sei, nach einem Eiweissminimum zu suchen, da die Fragestellung eine falsche ist. Denn es gibt kein einheitliches Eiweissminimum und kann keines geben. Ich bin damals zu dieser Anschauung gelangt, ohne mir bewusst zu sein, dass Rubner [3]) bereits vorher eine vollkommen gleiche Ansicht ausgesprochen hatte. Es sei mir gestattet, an dieser Stelle nochmals unter Benutzung des neuen Materials eingehender auseinander-

1) Der Vegetarier M. teilt mir mit, dass die Kellog'schen Präparate von einer Mannheimer Fabrik jetzt in wohlschmeckenderer Form in den Handel gebracht worden sind.

2) Arch. f. Anat. u. Physiol. 1901 S. 323.

3) l. c. S. 126.

zusetzen, warum ein Eiweissminimum als ein ebenso unmögliches Problem erscheint wie der Stein der Weisen. Das geht daraus hervor, dass das Eiweissminimum notgedrungen abhängig sein muss von einer grossen Reihe verschiedenartiger Faktoren, so dass eine allgemein gültige zahlenmässige Feststellung dieses Begriffes ausgeschlossen bleiben muss.

Die Verhältnisse werden sich gut überblicken lassen, wenn wir umstehende Tabelle betrachten, welche eine Zusammenstellung der Versuche mit geringer Eiweisszufuhr darstellt. Wenn sich dabei der Versuch von Sivén mit 6,26 g Stickstoff als Mindesteiweisszufuhr, bei welcher Gleichgewicht eintrat, gegenüber seiner Angabe von 4,52 g N findet, so entspricht das meiner früheren Darlegung, dass Sivén sich in der Versuchsperiode, in welcher 4,52 g Stickstoff pro Tag gereicht wurden, nicht im Gleichgewicht befunden hat[1]). Auch die Einwendungen, welche Sivén in seiner zweiten Arbeit[2]) gegen die gleiche Anschauung J. Munk's erhoben hat, erscheinen mir nicht geeignet, diese Meinung zu entkräften. Für die Sache übrigens ist diese Differenz nicht wesentlich, da meiner Ansicht nach die Frage nicht so liegt, bei welcher Mindesteiweisszufuhr ein besonders dazu veranlagtes Individuum in mehr oder weniger deutlicher Weise sein Stickstoffgleichgewicht behalten kann, sondern die Frage muss doch wohl, wenigstens im Sinne all der Forscher, welche derselben eine Bedeutung beimessen, allgemeiner gefasst werden, derart, welches wohl die mindeste Eiweissmenge ist, mit der unter gewöhnlichen Umständen ein erwachsener Mann seinen Bedarf zu decken imstande ist, und die man daher einer Norm für Massenernährung zugrunde legen darf. Wenn wir uns aber die Frage vorlegen, so finden wir eine solche Fülle von Umständen, welche nachweisbar in weiten Grenzen diese Zahl beeinflussen müssen, dass an eine eindeutige Lösung eben nicht gedacht werden kann.

(Siehe die Tabelle auf S. 540.)

Die Anschauung, dass die Frage nach einem einheitlichen Eiweissminimum ein unlösbares Problem darstellt, wird heute vielfach bereits anerkannt. Wenigstens scheint dies daraus hervorzugehen, dass diejenigen Forscher, welche in neuester Zeit das einschlägige Thema behandelt haben, die Fragestellung in zwar zweckmässiger, aber von der bisherigen abweichender Form ver-

1) l. c. S. 326.

2) Skandinav. Arch. f. Phys. Bd. 11 S. 308. 1901.

Versuche mit geringer Eiweisszufuhr am Menschen.

a) Bei nicht rein vegetarischer Ernährung.

Autor	Körpergewicht	N der Nahrung	Resorbiertes N	N d. Nahrg. pro kg Körpergew.	Kalorien der Nahrung pro kg Körpergewicht	Bemerkungen
	kg	g	g			
Hirschfeld. . .	73	7,44	5,78	0,1	47,4	Fast N-Gleichgewicht. Bilanz — 0,2 g N pro Tag.
Klemperer. . .	64	5,28	4,02	0,08	78,4	Zuletzt N-Gleichgewicht.
„ . . .	65,5	5,28	4,25	0,08	76,6	N-Gleichgewicht. Zuletzt Ansatz.
Sivén.	59,65	6,26	4,52	0,14	41,6	Gleichgewicht. Bilanz — 0,09 g N pro Tag.
Caspari	65,3	10,11	8,92	0,15	50,1 (48,1)[1]	Kein Gleichgewicht. Bilanz — 0,82 g N pro Tag.
b) Vegetarier.						
Voit u. Constantinidi	57	8,4	4,9	0,15	47	Bilanz — 0,4 g N pro Tag.
Voit u. Constantinidi	74	8,25	4,75	0,11	35	Nicht-Vegetarier bei streng vegetarischer Kost. Bilanz — 4,95 g N pro Tag.
Rumpf und Schumm. . . .	63	11,82	7,81	0,19	54	Bilanz + 0,9 g N pro Tag. Gleichgewicht.
Kumagawa. . .	48	8,75	6,72	0,18	53,8	Nicht-Vegetarier bei vegetar. Kost. Bilanz + 0,5 g N pro Tag. Gleichgewicht.
Albu	37,5	5,46	3,67	0,15	37	Bilanz + 0,37 g N pro Tag. N-Gleichgewicht.
Caspari und Glässner . . .	68,8	7,83	5,78	0,11	66 (60)	Bilanz + 1,05 g N pro Tag. Ansatz.
Caspari und Glässner . . .	57,9	5,33	4,04	0,09	47 (44)	Bilanz + 0,49 g N pro Tag.
Caspari Hauptm. H. I .	49,1	1,18	—	0,02	15 (12)	Bilanz — 2,93 g N pro Tag. (Dauer 41 Tage.)
„ II .	42,688	1,35	—	0,03	17 (15)	Bilanz — 2,34 g N pro Tag. (Dauer 21 Tage.)
„ III .	40,89	3,97	2,53	0,10	38 (34)	Bilanz — 0,02 g N pro Tag. (Dauer 14 Tage.)
„ III a	40,965	3,43	2,19	0,08	34 (30)	Bilanz — 0,47 g N pro Tag.
„ III b	40,885	4,31	2,75	0,10	41 (35)	N-Gleichgewicht.
„ III c	40,905	4,43	2,83	0,11	41 (36)	Bilanz + 0,64 g N pro Tag.

schoben haben. So sagt Larguier des Bancels[2]): „Faut-il toutefois, en présence des résultats fournis par les experiences les plus récentes et les plus sûres, admettre avec Caspari que le minimum azoté ne saurait être envisagé comme une grandeur définie, au moins dans telle espèce, mais qu'il présent des variations individuelles étendues. . . . Les travaux qu'on a signalés plus haut ont un trait commun. Ils supposent implicitement l'existence d'un

1) Die eingeklammerten Zahlen bedeuten die resorbierten Kalorien.

2) De l'influence de la température extérieure sur l'alimentation p. 52. Paris 1903.

minimum azoté, caractéristique de l'individu à l'état d'entretien. Mais la réalité de ce minimum est loin d'être évidente a priori et le succès des expériences n'a pas démonstré après coup la légitimité d'un tel postulat. , . . Et il y a lieu de se demander si, à la notion du minimum unique, il ne serait pas temps de substituer celle des minima multiples." Und ähnlich wird die Frage von Jägerroos[1]) formuliert:

„So verfehlt, wie dies Caspari annimmt, ist es doch wohl nicht, ein Mindestmass des Eiweissbedarfes festzustellen zu versuchen. Die Sache darf nur nicht so aufgefasst werden, dass es überhaupt nur ein absolutes, für alle Menschen und Fälle ganz bestimmtes Eiweissminimum gäbe, sondern man hat vielmehr durch zahlreiche Untersuchungen festzustellen, innerhalb welcher Grenzen das Eiweissminimum bei den verschiedenen Individuen unter verschiedenen Verhältnissen wechselt."

Also wie man sieht, trotz einigen Widerspruchs in der Form wird der von mir vertretene Standpunkt akzeptiert; andrerseits aber die gesamte Position gewechselt, um dem gefährdeten Problem eine bessere Verteidigungsstellung zu verschaffen.

Es scheint mir jedoch, als ob die Frage nach dem Eiweissminimum auch in der neuen Fassung ein kaum lösbares Problem sei. Man muss sich doch zunächst einmal klarmachen, von welchen Umständen denn nachweislich die geringste auskömmliche Eiweissmenge bei einem und demselben Menschen abhängt. Hier bereits treten uns eine Fülle von Faktoren entgegen, welche das Eiweissminimum zweifellos zu beeinflussen in der Lage sind, derart, dass wir schon bei derselben Person eine unübersehbare Anzahl verschiedener Eiweissminima feststellen müssten.

Zunächst ist die Abhängigkeit des Eiweissminimums von der Tätigkeit des Organismus zu diskutieren. Allerdings wissen wir heute, dass die Arbeitsleistung nicht unbedingt eine Erhöhung des Eiweissumsatzes bedingt. Dafür wird jedoch die Frage um so komplizierter durch die Mannigfaltigkeit der Einwirkung der Arbeitsleistung auf den Eiweisshaushalt unter wechselnden Lebensbedingungen. Die Wirkung, welche die Muskelarbeit auf den Eiweissverbrauch ausübt, ist ja keine eindeutige. Sie hängt ab von dem Verhältnis der Arbeitsleistung zu der Gesamtzufuhr an stickstofffreiem und

---

1) Skandinav. Arch. f. Physiol. 1902 S. 382.

stickstoffhaltigem Material. Reichen die zirkulierenden stickstofffreien Nährstoffe, welche dem Organismus zugeführt werden, aus, um jederzeit die Kosten der Arbeit bestreiten zu können, so erscheint es nach unseren Erfahrungen wahrscheinlich, dass bei Steigerung der körperlichen Arbeit eine Sparung an Eiweiss stattfinden kann und die paradoxe Erscheinung eintritt, dass bei Erhöhung der Arbeitsleistung das Eiweissminimum wenigstens eine Zeitlang herabgedrückt wird. Der Eintritt dieser Möglichkeit hängt aber nicht nur von der gesamten Nahrung ab, sondern in gleicher Weise auch von dem vorhandenen Reservematerial des Körpers, welches bei der durch Körperarbeit gesteigerten Tendenz zur Eiweisssparung von dem Organismus für seinen Verbrauch mit herangezogen werden kann.

Andrerseits natürlich muss bei ungenügender Gesamtzufuhr und mangelndem Reservematerial eventuell für die gleiche Tätigkeit Eiweissmaterial mit verwendet werden, und so wird in diesem Falle der Eiweissumsatz steigen, das Eiweissminimum ein höheres sein. Dasselbe wird eintreten, wenn Dyspnoe oder Sauerstoffmangel statthat, ebenso wenn Überhitzung des Körpers bei der Arbeitsleistung eintritt, was viel häufiger vorkommen dürfte, als man gewöhnlich annimmt.

Schon aus obigen Überlegungen ergibt sich des weiteren die Abhängigkeit des Eiweisminimums von dem Gesamtbrennwert der Nahrung, speziell also in diesem Falle von der Energiemenge, welche in dem stickstofffreien Material dem Organismus zur Verfügung gestellt wird. Für die Wichtigkeit dieses Faktors sprechen ganz besonders die Versuche von Klemperer, der bei exzessiv hoher Gesamtzufuhr mit 0,08 g Stickstoff pro Kilogramm Körpergewicht sogar noch einen Eiweissansatz erzielen konnte. Andrerseits sprechen die Versuche Sivén's dafür, dass die Erhöhung der Kalorienzufuhr kein unbedingtes Erfordernis ist für ein Herabdrücken des Eiweissminimums, was dieser Autor auch besonders betont.

Die Wirkung der stickstofffreien Stoffe, welche man sich gewöhnt hat, mit dem Namen der Eiweissparung zu bezeichnen, kann gar nicht besser illustriert werden, als wenn wir die Werte, welche wir für den Eiweissumsatz bei dem Versuche am Hauptmann H. gefunden haben, vergleichen mit denjenigen, welche von Lehmann, Fr. Müller, J. Munk, Senator und Zuntz bei den Hungerern Cetti und Breithaupt[1]) und von Luciani bei Succi[2]) fest-

1) Virchow's Arch. 1893 Bd. 131 Suppl.

2) Luciani, Das Hungern. Autoris. Übersetzung. Verlag von Leopold Voss, Hamburg und Leipzig 1890.

gestellt wurden. Der Stickstoffumsatz des Hauptmanns H. ist nämlich der niedrigste, welcher bisher jemals in Versuchen am Menschen beobachtet worden ist. Er betrug im Mittel pro Tag:

	N g	N pro kg Körpergew. g
der I. Periode	2,88	0,059
„ II. „	2,81	0,066
„ III. „	2,55	0,062

Wenn wir die III. Periode gemäss den oben angeführten Überlegungen und Daten ihrerseits wiederum in drei Teile teilen, so erhalten wir in

Periode III a	2,66	0,065
„ III b	2,765	0,068
„ III c	2,185	0,053

Dagegen betrug der Umsatz bei den Hungerern:

Tag	Cetti (26 J. alt)	Breithaupt (21 J. alt)	Succi (40 J. alt)	J. A.[1] (26 J. alt)	Schreiber und Waldvogel's[2] Versuchspersonen I	Schreiber und Waldvogel's[2] Versuchspersonen II	Ln.[3] (22 J. alt)
1.	13,55	10,01	13,806	12,72	8,82	9,48	13,60
2.	12,59	9,92	11,026	13,48	10,09	11,36	13,43
3.	13,12	13,29	13,857	13,56	11,68	14,33	15,13
4.	12,39	12,78	12,801	11,34	—	—	13,87
5.	′10,70	10,95	12,835	—	—	—	—
6.	10,10	9,88	10,120	—	—	—	—
7.	10,89	—	9,374	—	—	—	—
8.	8,90	—	8,427	—	—	—	—
9.	10,83	—	7,782	—	—	—	—
10.	9,47	—	6,754	—	—	—	—
11.	—	—	7,880	—	—	—	—
12.	—	—	7,162	—	—	—	—
13.	—	—	3,509	—	—	—	—
14.	—	—	5,336	—	—	—	—
15.	—	—	5,142	—	—	—	—
16.	—	—	5,504	—	—	—	—
17.	—	—	6,160	—	—	—	—
18.	—	—	5,456	—	—	—	—

1) Beiträge zur Kenntnis des Stoffwechsels beim hungernden Menschen von J. E. Johansson, E. Landergren, Klas Sondén und Robert Tigerstedt. Skandinav. Arch. f. Physiol. 1896 S. 29.

2) Beiträge zur Kenntnis der Harnsäureausscheidung in physiologischen und pathologischen Verhältnissen. Arch. f. exp. Pathol. u. Pharm. Bd. 42 S. 69.

3) Ernst Landergren, Untersuchungen über die Eiweissumsetzung des Menschen. Skandinav. Arch. f. Physiol. Bd. 14 S. 166. 1903.

Tag	Succi (40 J. alt)	Tag	Succi (40 J. alt)
19.	5,036	25.	6,042
20.	4,385	26.	5,061
21.	3,880	27.	5,368
22.	3,202	28.	5,599
23.	4,756	29.	4,080
24.	5,557	30.	6,620

Berechnen wir aus diesen Daten den mittleren Stickstoffumsatz pro Tag, so ergibt sich für Cetti 11,25 g N, für Breithaupt 11,14 g N, für Succi 6,91 g N, für Landergren 14,01 g N, J. A. 12,78 g N, für Schreiber und Waldvogel I 10,20 g N, II 11,72 g N.

Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass dieser eklatante Unterschied in dem täglichen Eiweissumsatze des Hauptmanns H. im Vergleich zu demjenigen der hungernden Menschen in erster Linie zurückzuführen ist auf die Wirkung der Kohlehydratzufuhr. Diese Tatsache wird noch besonders gut illustriert durch den Versuch Luciani's an Succi. Dort finden wir den niedrigsten Wert am 22. Tage mit 3,2 g Stickstoff im Harn: allerdings ein Wert, welcher bei dem Versuche am Hauptmann H. zu den höchsten gehört und nicht unerheblich über dem Durchschnittswert einer jeden Periode liegt. Da das Körpergewicht Succi's an dem betreffenden Tage 52,5 kg betrug, so war der Umsatz pro Kilogramm Körpergewicht 0,06 g, ein Wert, welcher dem durchschnittlichen Stickstoffumsatze, der beim Hauptmann H. pro Kilogramm Körpergewicht gefunden worden ist, annähernd gleichkommt. Dieser geringe Umsatz am 22. Hungertage Succi's wurde jedoch erreicht, nachdem am 20. und 21. zusammen etwa 61 g Traubenzucker als Klysma aufgenommen waren. Wir haben es also auch hier mit einer Wirkung der Kohlehydrate zu tun.

Des weiteren wird diese Wirkung der Kohlehydrate auf das vorzüglichste veranschaulicht durch die eben erwähnten Untersuchungen von Landergren. Landergren stellte Versuche an, welche einen Begriff geben sollten von der kleinsten Stickstoff- bezw. Eiweissmenge, deren Zersetzung für den Unterhalt der Lebensfunktionen im Organismus unbedingt nötig ist. Er suchte diese Frage zu lösen, indem er bei möglichst stickstoffarmer Kost eine reichliche Zufuhr stickstofffreier Nahrungsmittel einführte. Wohl bemerkt, handelt es

sich bei der Untersuchung Landergren's nicht um die Frage nach dem Eiweissminimum. Denn der Verfasser legte keinen Wert darauf, ob der Organismus sich im Stickstoffgleichgewicht befand oder nicht.

N-Verbrauch bei spezifischem N-Hunger und Kohlehydratkost.

Versuchsperson B. J., 22 J. alt.

Tag	N im Harn	
	Zufuhr 52 Kal. pro kg	Zufuhr 45,2 Kal. pro kg
1.	12,16	8,91
2.	8,37	5,15
3.	5,02	4,30
4.	4,50	3,76
5.	4,01	—
6.	3,36	—
7.	3,34	—

Dies ergibt pro Tag, wenn wir den Stickstoffumsatz des ersten Tages als durch die vorhergehende Ernährung beeinflusst ausschalten, im ersten Versuche einen Umsatz von 4,77 g Stickstoff, im zweiten einen solchen von 4,40 g. Diese Werte liegen allerdings noch beträchtlich höher als diejenigen, welche beim Hauptmann H. gefunden worden sind. Dagegen ist der Verbrauch pro Kilogramm Körpergewicht bei Landergren's Versuchen absolut in derselben Grössenordnung wie derjenige beim Hauptmann H., nämlich 0,067 bezw. 0,063 g N pro Kilogramm Körpergewicht. Wenn wir allerdings nur den 7. Tag des Versuches I mit dem niedrigsten Stickstoffumsatze von 3,34 g berücksichtigen, so erhalten wir pro Kilogramm Körpergewicht einen Umsatz von 0,047 g N, während der niedrigste tägliche Umsatz des Hauptmanns H. immer noch 0,050 g Stickstoff pro Kilogramm Körpergewicht beträgt. Diese Tatsache stimmt vollkommen mit unseren obigen Überlegungen hinsichtlich der Bedeutung der Kohlehydrate für die Herabdrückung des Eiweissumsatzes überein. Denn die Zufuhr an Brennmaterialien bei der Versuchsperson Landergren's betrug 52 Kal. pro Kilogramm Körpergewicht, bei der meinigen nur 41. Ferner repräsentiert auch das Kilogramm lebende Substanz bei der kräftigen und wohlgenährten Versuchsperson Landergren's zweifellos einen anderen Wert als bei dem äusserst reduzierten, fettarmen Hauptmann H. Wenn bei letzterem

die Fettarmut das Verhältnis des aktiven Materials zum Körpergewicht erhöht, so wird das Verhältnis andrerseits im umgekehrten Sinne beeinflusst durch das relative Überwiegen des Knochensystems und der Bindesubstanzen. Wie schliesslich durch das Gegeneinanderwirken beider Momente der Stoffumsatz beeinflusst wurde, wage ich nicht zu entscheiden.

Ferner besteht wohl auch noch ein Unterschied zwischen den frühen und späteren Abschnitten des Inanitionszustandes. Berechnen wir nämlich den Stickstoffumsatz bei den hungernden Individuen auf das Kilogramm Körpergewicht, so finden wir in den ersten Tagen des Hungerns eine ganz auffällige Übereinstimmung der Werte.

Wenn wir von denjenigen Hungerversuchen, bei welchen das Körpergewicht genau verfolgt worden ist, den Stickstoffumsatz pro Kilogramm am letzten Tage der Versuche feststellen, so finden wir:

Name	Tag des Versuchs	N im Harn	Körpergew. kg	N g pro kg Körpergew.
Cetti	10.	9,47	50,65	0,187
Landergren	4.	13,87	74,43	0,186
Breithaupt	6.	9,88	56,45	0,176
Versuchsperson J. A. . .	5.	11,34	63,47	0,175

Dagegen finden wir bei Succi, bei welchem der Versuch länger ausgedehnt wurde, in dem ersten Teil des Versuches allerdings Werte, welche in der gleichen Grössenordnung liegen, wie wir sie für die anderen Hungerer festgestellt haben, z. B.

6.	11,13	58,65	0,190

Im weiteren Verlauf des Versuches dagegen sinken diese Werte nicht unwesentlich, und wir erhalten z. B.

19.	5,036	53,20	0,094
20.	5,599	50,76	0,11

Es scheint also im weiteren Verlaufe des Hungerns oder der Unterernährung noch eine gewisse Anpassung einzutreten.

Wenden wir uns nunmehr zu der Frage des Eiweissminimums zurück, so glaube ich, dass aus der angeführten Überlegung die Wichtigkeit klar erwiesen ist, welche für den Eiweissumsatz und also auch für den geringsten Wert des Eiweissumsatzes, mit welchem ein Gleichgewicht erreicht werden kann, der Zufuhr der stickstofffreien Stoffe zukommt. Denn eine Art Anpassung, welche wir beim Hauptmann H., der, wie aus der Anamnese hervorgeht, schon längere

Zeit vor Beginn des Versuches eine äusserst knappe und eiweissarme Diät zu sich genommen hat, ebenso wie bei Succi als zweites Moment mit in Betracht ziehen können, würde jedenfalls gegenüber der Wichtigkeit der Zufuhr an stickstofffreiem Nährmaterial keine wesentliche Rolle spielen. Dies geht schon daraus hervor, dass auch pro Kilogramm Körpergewicht bei Succi am Ende des Versuchs trotz der erwähnten Anpassung etwa doppelt so viel Stickstoff umgesetzt wird als beim Hauptmann H. in der I. Periode.

Die Frage nach der Bedeutung der stickstofffreien Nährmaterialien für das Problem des Eiweissminimums wird aber noch weiter kompliziert durch die Ungleichwertigkeit der Fette und Kohlehydrate in dieser Beziehung. Es steht fest, dass die Kohlehydrate bessere Eiweisssparer sind als die Fette. Andrerseits hat Talquist[1]) bei Rubner nachgewiessen, dass bei Einhaltung der gleichen Albumenmenge und gleichen Kaloriengehaltes in der Nahrung das Stickstoffgleichgewicht ebensogut erhalten werden kann durch eine Kost, in der die stickstofffreien Stoffe zu 60 wie zu 90 % durch Kohlehydrate vertreten werden. Wenn es aber auch nach Talquist in gewissen Grenzen für die Frage des Eiweissminimums gleichgültig sein mag, in welcher Weise in der stickstofffreien Kost Fette und Kohlehydrate gemischt sind, so geht doch andrerseits aus den umfassenden Stoffwechselversuchen von Atwater und Benedict (Experiments on the metabolism of matter and energy in the human body 1900—1902 p. 176 f. Washington 1903) die Überlegenheit der Kohlehydrate den Fetten gegenüber in bezug auf die Eiweisssparung deutlich hervor. Auch in den zitierten Versuchen Landergren's zeigt sich, dass die Gleichwertigkeit der Fette und Kohlehydrate für die Eiweisssparung ihre Grenzen hat. Gerade diese so evident hervortretende Ungleichheit der Kohlehydrate und Fette als Eiweisssparer bei einseitiger Ernährung hat ja Landergren zu seiner so interessanten Theorie geführt, welche darin gipfelt, dass bei Kohlehydratmangel in der Nahrung ein Teil des gegebenen Eiweisses dazu verwendet werden muss, um dem Organismus die für denselben notwendige Kohlehydratmenge zu bilden. Wenn auch die Landergren'sche Hypothese durch Pflüger's jüngste Publikationen zweifelhaft geworden ist, habe ich dieselbe doch insoweit herangezogen, um zu zeigen, dass das Eiweissminimum nicht nur stets von der Menge der stick-

1) Zeitschrift für Biologie 1902, l. c.

stofffreien Nährmaterialien abhängt, sondern mitunter auch davon, wie in derselben Fette und Kohlehydrate gemischt sind.

In der eiweissfreien Beikost kommen ja aber nicht nur Fette und Kohlehydrate in Betracht, sondern auch andere Substanzen, vor allem der Alkohol, worauf Larguier des Bancels[1]) mit vollem Recht hinwies, und es ist wohl kein Zufall, dass bei den meisten Versuchen, bei welchen die Frage nach dem Eiweissminimum am Menschen geprüft wurde, grössere oder geringere Mengen dieses Nähr- und Genussstoffes zur Verwendung kamen. Wir wissen aber aus den zahlreichen Versuchen, welche über den Nährwert des Alkohols angestellt worden sind, dass gerade für den Stickstoffumsatz und die eventuelle Eiweissersparnis die Rolle des Alkohols keine eindeutige ist, sondern eine komplizierte, je nachdem der Organismus an Alkohol gewöhnt ist oder nicht. Ausserdem möchte ich hinzufügen, dass von Substanzen, welche nicht Eiweiss sind, auch leimgebende Stoffe und andere stickstoffhaltige Körper in der Nahrung enthalten sind, welche das Eiweissminimum beeinflussen. Erst kürzlich hat Kirchmann[2]) die diesbezüglichen Verhältnisse von neuem untersucht und festgestellt, dass bei einer Leimzufuhr, die etwa 12 % des Energiebedarfs ausmachte, der Eiweisszerfall beim hungernden Hunde um 27 % zurückging. Die höchste Sparung wurde zu 35 % gefunden, wobei der Leim 62 % des Energiebedarfes deckte.

Auch in einer anderen Beziehung muss das Eiweissminimum von der gereichten Nahrung abhängen. Wir haben oben gesehen, dass die mit dem Kote abgehenden Verdauungssäfte einen nicht ganz unerheblichen Verlust an Eiweiss oder Eiweissderivaten repräsentieren. Wir hatten aber auch aus den Daten der Literatur entnommen, dass die Grösse des hierdurch bedingten Stickstoffverlustes je nach der Art der Nahrung in ziemlich weiten Grenzen wechseln kann.

Ferner muss das Eiweissminimum bei ein und derselben Person in einer gewissen Abhängigkeit stehen von der Temperatur. Dies wird bereits wahrscheinlich durch die Arbeit von Larguier des Bancels[3]), welche bei Tauben die Abhängigkeit des Eiweissminimums von der Temperatur nachgewiesen hat. Wichtiger noch sind die Resultate von Rubner[4]), aus welchen hervorgeht, dass der

1) l. c. S. 54.

2) Zeitschr. f. Biologie Bd. 40. 1900.

3) l. c.

4) Die Gesetze des Energieverbrauchs usw. S. 168 ff.

Eiweissumsatz von der Temperatur abhängt. Rubner fand, dass für 1° Temperaturabnahme eine Steigerung der Eiweisszersetzung um 1,32 % eintrat. Allerdings ist dieses Resultat beim Karnivoren mit reiner Fleischfütterung erreicht, und es ist meines Wissens nicht bekannt, wie Temperaturdifferenzen bei der Versuchsanordnung wirken, welche zur Entscheidung der Frage nach dem Eiweissminimum eingeschlagen werden müsste. Wahrscheinlich ist es ja, dass in diesem Falle nur die stickstofffreien Bestandteile der Nahrung zur Wärmeregulation herangezogen werden. Da aber, wie wir gesehen haben, das Eiweissminimum seinerseits in Abhängigkeitsverhältnis von der zugeführten stickstofffreien Nahrung steht, so ist es nicht gleichgültig, ob ein grösserer oder geringerer Teil derselben für die Wärmeregulation des Organismus verbraucht wird.

So sehen wir, dass bereits bei der Entscheidung der Frage nach dem Eiweissminimum für eine einzige Person eine ausserordentlich grosse Anzahl von Nebenumständen zu beobachten sind, dass wir auch hier bereits zahlreiche Eiweissminima werden feststellen können, je nachdem wir diejenigen Faktoren, welche diesen Wert beeinflussen, in verschiedener Weise miteinander kombinieren und variieren. Hierbei bleibt immer noch die Frage offen, ob die von uns erwähnten Bedingungen, von welchen die Höhe des Eiweissminimums abhängig ist, erschöpfend sind, und ob nicht noch andere unerwähnte oder unbekannte Faktoren die Lösung der Frage weiter komplizieren.

Wenn wir aber auf diese Weise eine Reihe von verschiedenen Eiweissminimen selbst für ein und dieselbe Person festgestellt haben, so erscheint es mir ganz unmöglich, diese Frage für eine grössere Allgemeinheit von Menschen zu lösen. Ich weiss wohl, dass mit dem Worte „individuelle Verschiedenheiten" seit jeher in physiologischen und medizinischen Betrachtungen ein erheblicher Missbrauch getrieben worden ist, und auch noch getrieben wird. In diesem Falle aber sind wir in der Lage, die individuellen Verschiedenheiten zu kennen und zum Teil zahlenmässig ausdrücken zu können.

Der erste Faktor, von welchem wir das Eiweissminimum abhängig sahen, war die Tätigkeit des Organismus, und ich hatte daraut hingewiesen, wie schwer es ist, die Einwirkung dieser Tätigkeit eindeutig zu bestimmen. Noch schwieriger wird aber diese Frage, wenn wir sehen, dass die durch annähernd gleiche Arbeitsleistung hervorgerufene Steigerung des Energieverbrauchs, von welchem der Stick-

stoffumsatz doch ganz sicherlich in Abhängigkeit sein muss, für verschiedene Personen eine ausserordentlich verschiedene ist. So fand Johansson[1]) bei seiner gewöhnlichen Tätigkeit eine Steigerung des Energieverbrauches von 61 % über seinen Ruhewert. Annähernd ebenso gross (51 %) ist ein Wert, welcher sich aus Atwater und Benedict[2]) berechnen lässt. Ähnlich fanden Zuntz und Schumburg[3]) an zwei Versuchspersonen in einem Fall eine Steigerung von ca. 46, im anderen dagegen eine solche von 73 %, während Löwy[4]) eine Steigerung von 96 % über seinen Ruhebedarf zeigte. Daraus geht also mit Sicherheit hervor, ein wie verschiedenes Energiequantum bei verschiedenen Leuten die gewöhnliche Tätigkeit beansprucht, und ich glaube, das ist auch der Grund, warum Sivén mit einer Zufuhr von 0,14 g Stickstoff und 41,6 Kalorien pro Kilogramm Körpergewicht sich ins Gleichgewicht setzen konnte, während ich selbst mit einer höheren Zufuhr von 0,15 g N und 50 Kalorien pro Kilogramm Körpergewicht das Gleichgewicht nicht erreichte. Dieser wechselvolle Verbrauch für die gewöhnliche Tätigkeit ist doch wahrscheinlich die Folge verschiedenen Temperamentes, der grösseren Lebhaftigkeit und der demzufolge stattfindenden zahlreichen Luxusbewegungen, die den Verbrauch in so erheblicher Weise steigern.

Wie sehr sich die Ausgaben für derartige Luxusbewegungen summieren können, geht ja in deutlicher Weise aus den Versuchen von Zuntz und Hagemann[5]) am Pferde hervor, bei welchen durch zeitweises Herumtreten, Sichschütteln, Fussstampfen u. dgl. eine Steigerung des Stoffwechsels um etwa 10 % festgestellt wurde.

Erschwert wird ferner die Vergleichung verschiedener Individuen durch den verschiedenen Ernährungszustand derselben. Es bedarf wohl kaum einer weiteren Auseinandersetzung, dass gerade für die Frage des Eiweissminimums der Eiweissbestand des Körpers selbst, sein Gehalt an Reservefett und nach den Versuchen Landergren's auch sein Vorrat an Kohlehydraten die Höhe des Eiweiss-

---

1) Über die Tagesschwankungen des Stoffwechsels. Skand. Archiv für Physiol. Bd. 8 S. 119. 1888.

2) Bulletin of experimental stations. No. 63. Experiment No. 25.

3) Physiologie des Marsches S. 175—183.

4) Löwy und Müller, Beiträge zum Stoff- und Energieumsatz des Menschen. Arch. f. Anat. und Physiol. 1901 S. 316.

5) Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und Arbeit. Paul Parey, Berlin 1898.

minimums beeinflussen muss. Die Abhängigkeit des Stoffverbrauches und der Stickstoffausscheidung von dem Ernährungszustande geht übrigens auch klar aus den Angaben Rubner's hervor[1]).

Es sind aber noch andere Punkte, welche eine Vergleichung verschiedener Individuen hinsichtlich ihres minimalen Eiweissbedarfs erschweren. Hierher gehören psychische Momente, so vor allem die Anspruchslosigkeit des Geschmacks. Eine eiweissarme Kost ist fast immer mehr oder weniger reizlos, und ein an Genussmittel gewöhnter Organismus wird daher eine derartige Kost mit geringerem Appetit, ja, unter Umständen mit Ekelgefühl aufnehmen. Dass aber derartige anormale Zustände die Resorption der Nahrung und das allgemeine Wohlbefinden, von welchem sicherlich doch auch der Ernährungszustand abhängig ist, schädlich beeinflussen können, ist zweifellos. Ich glaube daher auch, dass es kein Zufall ist, dass die niedrigsten Werte für das Eiweissminimum in denjenigen Fällen erreicht worden sind, wo, wie besonders im Versuche von Klemperer, grössere Mengen Alkohol der Versuchsperson gereicht wurden.

Mir scheint es demnach auch in der neuen Formulierung der Frage ein fast unlösliches Problem, ein Eiweissminimum festzustellen und es wenigstens derartig zu begrenzen, dass innerhalb nicht allzu grosser Schwankungen sich ein allgemeingültiges Kostmass aufstellen lässt. Denn dieses ist doch, darauf muss ich hier wiederum hinweisen, das Ziel gewesen, welches man mit Erörterung der Frage nach dem Eiweissminimum zu erreichen suchte. Durchaus nicht leugnen will ich, dass es sicherlich von Interesse ist, die Bedingungen des Eiweissminimums, wie wir sie kennen gelernt haben, für möglichst viele Fälle und Zustände zu studieren. Hüten muss man sich aber, an einer oder auch an mehreren Personen gewonnene Resultate auf die Allgemeinheit zu übertragen und daraus weitgehende Schlüsse zu ziehen. Denn man darf nicht vergessen, dass in diesem Falle den Ernährungsphysiologen eine grosse Verantwortung aufgebürdet ist. Die Gefahr liegt ja nahe, dass Resultate von Versuchen zur praktischen Anwendung gelangen, welche, trotzdem der Versuch selbst tadellos richtig und zuverlässig ist, dennoch geeignet sind, das Gemeinwohl in erheblicher Weise zu schädigen, weil ihre Verallgemeinerung unstatthaft ist.

---

1) Gesetze des Energieverbrauchs etc. S. 294.

Wenn wir uns von der allgemeinen Frage des Eiweissminimums dem speziellen Gebiete des Eiweissgehaltes der vegetarischen Kost zuwenden, so haben wir uns zu fragen, ob bei vegetarischer Diät eine genügende Zufuhr resorbierbaren Eiweisses möglich ist, um alle Bedürfnisse des Organismus zu bestreiten. Ich glaube, man kann diese Frage unbedenklich mit Ja beantworten. Denn wenn auch durchgehends die Eiweisszufuhr bei vegetarischer Diät eine so geringe ist, wie sie bei gemischter Kost selten angetroffen wird, so sprechen doch sowohl die Versuche von Rumpf und Schumm wie besonders diejenigen, welche Glässner und ich an dem Ehepaar K. angestellt haben, dafür, dass mit dieser Kost nicht nur ein Erhalten des Eiweissbestandes, sondern sogar eine Vermehrung desselben möglich ist, auch wenn der Organismus der Versuchsperson nicht zu Beginn des Versuches ein reduzierter war, wie der des Hauptmanns H., der sich ja ebenfalls schliesslich ins Stickstoffgleichgewicht setzen konnte. Wenn aber auch die Zufuhr an Eiweisssubstanzen bei vegetarischer Kost nicht unbedingt eine zu niedrige ist, so bietet doch diese Diätform in ganz besonders hohem Masse die Gefahr einer zu niedrigen Eiweisszufuhr. Neben der geringen Gesamtmenge des Eiweisses in der Nahrung und der schlechten Resorption desselben spielt dabei auch das grosse Volumen dieser Kost eine schädliche Rolle. Denn hierdurch kann bewirkt werden, dass Lust und Eifer zur Nahrungsaufnahme erlahmen, bevor die nötige Menge Eiweiss oder aber die nötige Menge stickstofffreier Nahrungsmittel, welche ein Auskommen mit der geringen Eiweissmenge ermöglichen, stattgefunden hat. In solchen Fällen tritt dann eine allmähliche Verarmung des Organismus an Eiweiss ein, und schliesslich wird wohl auch mit dieser vegetarischen Ernährung ein Eiweissminimum erreicht, welches dem reduzierten Körperbestande entspricht. Hierfür ist der Fall des Hauptmanns H. und, wie ich überzeugt bin, auch die Dame des Herrn Albu als Beispiel zu verwerten. In diesem allmählichen Einstellen des Organismus auf die gereichte Eiweissmenge ist m. E. wohl mit Sicherheit wenigstens teilweise das Auftreten der als „Heilkrisen“ bezeichneten Krankheitsanfälle zurückzuführen, welche beim Übergange zu strengerer vegetarischer Diät einzutreten pflegen. Andrerseits beweist das Vorkommen so ausserordentlich muskelstarker strenger Vegetarier wie des Dauergängers M., dass für einen sorgsamen und intelligenten Menschen auch bei vegetarischer Kost das Erwerben eines hervorragend eiweissreichen

muskelkräftigen Körpers und dessen Erhaltung auf leistungsfähigster Höhe möglich ist, wobei sicherlich die erwähnten Kellog'schen Präparate diese Aufgabe wesentlich zu erleichtern imstande sind.

Energiezufuhr bei vegetarischer Kost.

Günstiger als die Frage nach der Eiweisszufuhr stellen sich die Verhältnisse bei der vegetarischen Ernährung hinsichtlich der Deckung des Kraftbedarfs. Hier besteht wohl kein Zweifel, dass eine ausreichende Zufuhr resorbierbaren Materials leicht erreicht werden kann. Dies folgert schon aus den verhältnismässig günstigen Resorptionsverhältnissen für den Brennwert der Nahrung, welche hauptsächlich durch die leichte Verdaulichkeit der Zucker- und Stärkesubstanzen bedingt sind. Die gute Verwertung des Brennwertes der Nahrung geht ja mit Deutlichkeit aus den Versuchen an dem Ehepaar K. und demjenigen am Hauptmann H. hervor. Denn während bei Herrn K. der Stickstoff nur zu 74, das Fett zu 88 % ausgenutzt wurde, wurde der Brennwert zu 91 % verwertet. Noch besser waren die Verhältnisse bei Frau K., bei welcher die Kalorien sogar zu 93 % ausgenutzt wurden. Selbst bei den ungünstigen Resorptionsverhältnissen des Hauptmanns H. betrug die Ausnutzung des Brennwertes in der I. Periode 76, in der II. und III. 88 %. Von diesem Standpunkt aus ist also ein Einwand gegen die vegetarische Kost nicht zu erheben.

Physiologischer Nutzeffekt.

Die Wertigkeit einer Kost hinsichtlich ihres Brennwertes spricht sich am klarsten aus, wenn wir den physiologischen Nutzeffekt derselben ermitteln. Unter dem physiologischen Nutzeffekt versteht Rubner bekanntlich, „wieviel, in Prozenten ausgedrückt, von dem Brennwerte einer Nahrung nach Abzug des Brennwertes von Harn und Kot dem Organismus zur Verfügung steht". Auf solche Weise hat Rubner gefunden:

Nahrung	Verluste % Harn	Verluste % Kot	Physiologischer Nutzeffekt
Gemischte Kost, fettreich . .	3,87	5,73	90,4
„ „ fettarm . .	4,65	6,0	89,3

Diesen Werten für gemischte Kost erweisen sich die Werte, welche bei dem Ehepaar K. gefunden wurden, durchaus analog.

Vegetarische Kost, Herr K.	1,4	8,9	89,7
	1,3	7,1	91,6

Ebenso günstig stellte sich ein Versuch Rubner's mit Kartoffelkost:

Kartoffelkost	2,0	5,6	92,3

Es ergibt sich also daraus, dass der physiologische Nutzeffekt bei vegetarischer Kost demjenigen bei gemischter zum mindesten vollkommen gleich sein kann. Dies wird dadurch erreicht, dass der durch die häufig schlechte Resorption bedingte höhere Brennwert des Kotes durch den niedrigeren des Harns kompensiert wird. Wesentlich schlechter liegen die Resultate für den Hauptmann H. Hier verhalten sich die Werte folgendermassen:

Periode	Verluste %		Physiologischer Nutzeffekt
	Harn	Kot	
Ia	5,1	23,5	71,35
Ib	4,0	23,5	72,49
II	6,0	12,2	81,77
IIIb	3,1	11,7	85,19
IIIc	3,1	11,7	85,20

Daraus folgt, dass die reine Obstkost, auch abgesehen von der absolut zu geringen Zufuhr an Eiweiss und stickstofffreien Nährstoffen, an sich eine unzweckmässige genannt werden muss. Sie steht in dieser Beziehung etwa auf gleicher Stufe wie eine Kost, welche aus ganzkörnigem Brot und aus Brot mit Kleie gewonnen worden ist. Für diese Kostarten hat Rubner[1]) folgende Werte gefunden:

	Verluste %		Physiologischer Nutzeffekt
	Harn	Kot	
Brot aus ganzem Korn . . .	2,4	15,5	82,1
„ „ Kleie	2,2	24,3	73,5

Auffallend ist, wenn wir diese Zusammenstellung betrachten, dass bei dem Versuche am Hauptmann H. nicht nur die Werte für den prozentischen Verlust im Kot, sondern auch diejenigen im Harn recht hohe sind. Man sollte nach den Erfahrungen am Ehepaar K. annehmen, dass der Wärmeverlust im Harn entsprechend der niedrigeren Eiweisszufuhr bei den Versuchen am Hauptmann H. ein ausserordentlich geringer sein würde. Offenbar aber spielen hier noch andere Faktoren mit, welche den Brennwert der Harnes beeinflussen.

1) Der Energiewert der Kost des Menschen. Zeitschr. f. Biol. Bd. 42 S. 306. 1901.

In erster Linie ist naturgemäss derselbe abhängig von den stickstoffhaltigen Resten des umgesetzten Eiweisses. Daneben müssen aber augenscheinlich bei Pflanzenkost Bestandteile in den Harn übergehen, welche seinen Brennwert steigern. Dies ergibt sich, wenn wir die kalorischen Quotienten des Harns zusammenstellen, soweit dieselben bisher ermittelt worden sind. Es wurden folgende Werte gefunden:

Tag	Kal. Quot.	Tierart bezw. Nahrung	Autor
	6,69	Hund, Fleischkost	Rubner
	7,45		"
	12,1	Mensch, Muttermilch	"
	8,45	fettarme Kost	"
	8,65	fettreiche Kost	"
	8,58—10,54	" "	Tangl[1])
	8,25	gemischte Kost	Löwy[2])
	8,77	" "	Caspari[3])
	8,81	gemischte Kost	Zuntz
	11, 30—13, 20	kohlehydratreiche Kost	Tangl
1.	14,29	vegetar. Diät, Herr K.	Caspari und Glässner
2.	15,06		
3.	14,92		
4.	13,28		
5.	11,09		
1.	11,93	vegetar. Diät, Frau K.	
2.	10,79		
3.	10,50		
4.	7,14		
5.	9,56		
Periode			
I a	13,28	vegetar. Diät, Hauptm. H.	Caspari
I b	10,50		
II	13,47		
III a	18,90		
III b	23,66		
	31,7	Rind	Kellner[4])
	33,2		

1) Beitrag zur Kenntnis des menschlichen Harns. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1899 Suppl.

2) Beiträge zum Stoff- und Energieumsatz des Menschen. Arch. f. Anat u. Physiol. 1901 S. 317.

3) Ebenda S. 323.

4) Untersuchungen über den Stoff- und Energieumsatz volljähriger Ochsen bei Ernährungsfutter. Landwirtschaftl. Jahrbücher Bd. 47 S. 275. 1896.

Wenn also auch einige noch nicht geklärte Differenzen, besonders zwischen den Angaben von Tangl bei kohlehydratreich genährten Menschen und von Rubner am fettarm, also wohl kohlehydratreich, ernährten Menschen bestehen, so ergibt sich doch, wie mir scheint, im allgemeinen eine geschlossene, gleichmässige Reihe, welche vom Karnivoren über den gemischte Kost nehmenden Menschen zum Vegetarier und von diesem weiter zu den Herbivoren führt. Augenscheinlich ist dies, wie gesagt, darauf zurückzuführen, dass bei pflanzenreicher Kost Substanzen in den Harn übergehen, welche bei hohem Verbrennungswert stickstoffarm resp. stickstofffrei sein müssen. Welcher Art diese Substanzen sind, ist nicht bekannt. Tangl, Rubner und auch ich selbst haben versucht, Zucker im Harn nachzuweisen, jedoch mit geringem (Rubner) oder ohne Erfolg. Es muss weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben, die Natur dieser Substanz oder Substanzen festzustellen. Es sind hier augenscheinlich die Versuche fortzuführen, welche Rubner[1]) begonnen hatte, um das Wachsen des Quotienten $\frac{C}{N}$ im Harn zu erklären. Rubner wies damals im Harn Indoxylschwefelsäure, Kreatinin, Phenol, Kresol, Kynurensäure nach, alles Substanzen, welche reicher an Kohlenstoff und ärmer an Stickstoff sind als der Harnstoff. Beim Herbivoren, besonders bei vorwiegend aus Gramineen bestehender Nahrung, ist der Reichtum des Harns an aromatischen Substanzen, speziell an Hippursäure, der Grund des hohen kalorischen Quotienten.

Vorzüge der vegetarischen Diät.

Wir haben bisher eine Reihe von Gesichtspunkten erörtert, in welchen mit mehr oder minder Recht der vegetarischen Diät eine minderwertige Stellung gegenüber der gemischten Kost zugewiesen wird. Es erübrigt jetzt, einige zu erwähnen, in welchen die Anhänger der vegetarischen Ernährungsweise einen besonderen Vorteil ihrer Diätform gegenüber der gemischten Kost sehen. Hier ist zunächst der Mangel an Harnsäurebildnern zu erwähnen. Es ist ausserordentlich schwer, sich vom Stande unserer heutigen Kenntnisse aus ein Urteil zu bilden darüber, ob dieser Vorteil der vegetarischen Diät ein eingebildeter oder ein wirklicher ist. Für beide Gesichtspunkte lassen sich Momente anführen. Die Fanatischen unter den Vege-

1) Zeitschr. f. Biologie Bd. 21 S. 279.

tariern allerdings, welche leicht geneigt sind, dasjenige als erwiesen zu erachten, was ihren Tendenzen entspricht, sind zum grossen Teil von der verderblichen Wirkung der Harnsäure überzeugt und schwören in diesem Falle auf die Lehre des englischen Klinikers Haig[1]). Haig selbst steht nicht auf dem Standpunkt, dass eine absolut vegetarische Diät notwendig sei, um die Gefahren, welche die Harnsäure seiner Meinung nach mit sich bringt, zu vermeiden. Andrerseits enthalten ja auch eine Anzahl dem Pflanzenreich entnommener Substanzen, wie Tee, Kakao, Kaffee, grosse Mengen Purinkörper, und gerade die nahrhaftesten Repräsentanten der Pflanzenkost, die Hülsenfrüchte, Bohnen, Erbsen usw., sind gleichfalls so reich an diesen Stoffen, dass nach den Angaben Haig's eine Aufnahme von Hülsenfrüchten zu schweren Schädigungen geführt hat. Ebenso hat auch Walker Hall[2]) nachgewiesen, dass Hafermehl, Erbsenmehl und besonders Bohnen nicht unerhebliche Mengen Purinkörper enthalten. Haig zieht denn auch die Konsequenzen aus diesen Erfahrungen, indem er auch diese eiweissreichen Repräsentanten der Pflanzenkost von seinem und seiner Patienten Diätzettel streicht. Mir scheint, dass der objektive Beobachter auf einem weit weniger sicheren Standpunkt steht, als er von diesem radikalen Autor vertreten wird. Diejenigen Erkrankungen, welche ja in erster Linie als eine Folge der Aufnahme von Purinkörpern angesehen wird, sind die Gicht und gewisse Nierenerkrankungen. Fragen wir uns aber, was uns denn bisher über den Zusammenhang der Gicht mit den Körpern der Purinreihe bekannt ist, so finden sich einzig und allein die Tatsachen, dass bei Gichtikern nicht nur harnsaure Konkremente an den verschiedensten Stellen des Körpers sich ablagern, sondern auch das Blut reicher ist an Harnsäure als bei dem normalen Menschen; dass ferner der Harnsäuregehalt des Blutes gesteigert werden kann durch Aufnahme purinreicher Nahrungsmittel, insbesondere Leber, Thymus u. dgl. Andrerseits steht aber auch fest, dass dieser vermehrte Harnsäuregehalt des Blutes durch verminderte Ausscheidung der Harnsäure bedingt sein kann. Dass wenigstens zeitweilig eine derartige Retention von Harnsäure

---

1) Alexander Haig, Die Harnsäure als ein Faktor bei der Entstehung von Krankheiten. Autorisierte Übersetzung der 5. Aufl. Verlag von Otto Salle, Berlin 1902.

2) The relation of purine bodies to certain metabolic disorders. The British med. Journal 1902 p. 1461.

vorkommt, muss als erwiesen betrachtet werden. Ferner kommt eine Erhöhung der Harnsäurebildung als Ursache in Betracht. Gegen eine Krankheitsdisposition jedoch, welche sich in erhöhter Harnsäurebildung äussert, würde eine purinfreie oder purinarme Diät ein ausreichendes Schutzmittel nicht abgeben können. Wir haben uns nach dem Vorgange von Burian und Schur[1]) daran gewöhnt, die Harnsäure, welche im Organismus gefunden und von demselben ausgeschieden wird, zu zerlegen in einen endogenen und einen exogenen Anteil, und nur der exogene kann von der eingeführten Nahrung beeinflusst werden, während der endogene innerhalb weiter Grenzen von der Ernährung unabhängig zu sein scheint. Da wo eine vermehrte Bildung von Harnsäure im Organismus stattfindet, ist aber naturgemäss der Anteil vermehrt, welcher im allgemeinen durch die Ernährung nicht zu beeinflussen ist. Womöglich noch unsicherer sind unsere Kenntnisse über den Zusammenhang von Nierenerkrankungen und Fleischkost.

Da also experimentell sichergestelltes wissenschaftliches Material uns über die Schädlichkeit der Fleischzufuhr in der Kost — denn eine Vermehrung der Harnsäureausscheidung nach Zufuhr gewisser Fleischarten bedingt doch noch keine Schädigung des Organismus — bisher keinen sicheren Aufschluss gibt, so wird man gut tun, in dieser Hinsicht der Erfahrung und den Beobachtungen zuverlässiger Autoren eine erhebliche Bedeutung beizumessen. Dabei wird man zugeben müssen, dass Millionen von Menschen eine oft sehr purinreiche Kost zu sich nehmen, ohne im geringsten Schädigungen durch dieselbe zu erleiden. Andrerseits wird man als erwiesen erachten müssen, dass eine nicht unerhebliche Anzahl von Menschen in der Tat durch die Aufnahme allzu grosser Mengen von Purinkörpern geschädigt wird, und dass für diese der Übergang zur vegetarischen Kost nutzbringend und oft heilsam ist. Man braucht andrerseits durchaus nicht Vegetarier zu sein, um unumwunden einzuräumen, dass besonders in England und Deutschland von den gutsituierten Klassen oft ganz ungebührlich hohe Mengen Fleisch verbraucht werden. Dass aber ein Übermass des Fleischgenusses schädlich wirken kann, ist nach allem, was wir experimentell über die Einwirkung gewisser Alloxurbasen festgestellt haben, durchaus nicht

1) Burian und Schur, Über die Stellung der Purinkörper im menschlichen Stoffwechsel. Pflüger's Archiv Bd. 87 S. 239. 1901.

erstaunlich. Mir scheint also, dass an dieser vegetarischen Behauptung so viel richtig ist, dass ein Heruntergehen in der Fleischzufuhr bei sehr vielen Menschen von gesundheitlicher Bedeutung wäre. Selbst vorübergehende oder dauernde Anwendung rein vegetarischer Kost bei solchen Leuten, welche an harnsaurer Diathese oder Gicht leiden, mag vollauf berechtigt sein. Doch ist diese Verwendung im wesentlichen als ein Heilmittel bei pathologischen Zuständen aufzufassen. Für Nierenkrankheiten hat die Erfahrung gelehrt, dass eine vorwiegende Milchdiät von besonders günstiger Wirkung ist, eine Kost also, welche nicht unter das rein vegetarische Regime fällt.

Die ausserordentlich zahlreichen Untersuchungen, welche über die Bedeutung der Harnsäure für die Physiologie und Pathologie angestellt worden sind [1]), erweisen mit ziemlicher Klarheit, dass auf die Harnsäureausscheidung als solche ein verhältnismässig geringer Wert zu legen ist, weil gerade bei harnsaurer Diathese die Ausscheidung der Harnsäure eine geringe, ja eine herabgesetzte sein kann, weil andrerseits bei der Gicht Perioden vermehrter mit solchen verminderter Ausscheidung zu wechseln pflegen. Dennoch entbehrt es vielleicht nicht jeden Interesses, festzustellen, wie sich bei unseren Versuchspersonen die Harnsäureausscheidung verhalten hat. Es ergeben sich da folgende Werte:

					$\overline{U}$ pro Tag im Mittel mg
Herr K.					258
Frau K.					216
Hauptm.	H.,	Mischharn	I,	31. Okt. bis 19. Nov..	179
„	H.,	„	II,	4.—9. Dez.	167
„	H.,	„	III,	16.—24. Dez.	211
„	H.,	„	IV,	3.—5. Jan.	33
„	H.,	„	V,	6.—9. „	153
„	H.,	„	VI,	10.—13. „	115

Was zunächst die Werte der Harnsäureausscheidung bei Herrn und Frau K. betrifft, so sind dieselben ausserordentlich niedrig. Sie sind etwa von derselben Grösse, wie sie von Burian und Schur [2])

1) Vgl. Wiener, Die Harnsäure. Ergebnisse der Physiologie I. Jahrg. 1902 und Die Harnsäure in ihrer Bedeutung für die Pathologie. Ebenda, II. Jahrg. 1903.

2) Das quantitative Verhalten der menschlichen Harnpurinausscheidung. Pflüger's Archiv 1902 S. 289.

an mehreren Versuchspersonen bei Ernährung mit purinfreier Kost festgestellt worden sind. Auch Minkowski[1]) hat Werte gleicher Grössenordnung gefunden bei einer Kost, welche aus Milch, Eiern, Käse, Brot, Reis und Wein bestand, also nicht als streng vegetarisch bezeichnet werden darf, während allerdings bei einer gemischten fleischhaltigen Kost etwa das Vierfache dieser Menge ausgeschieden wird[2]). Andrerseits hat Sivén[3]) bei ebenfalls nukleinfreier Diät, welche aus Milch, Eiern, Brot, Käse und Bier zusammengesetzt war, etwa doppelt so hohe Werte wie Minkowski pro Tag im Durchschnitt festgestellt. Es stützt dies also im wesentlichen die Anschauungen von Burian und Schur, dass die endogene Harnsäureausscheidung eine individuell wechselnde Grösse darstellt. Dagegen scheinen die Werte, wie sie sich bei dem Versuche am Hauptmann H. finden, auf eine gewisse Abhängigkeit der endogenen Harnsäureausscheidung von der Ernährung hinzudeuten. Es spricht sich dies, wie mir scheint, darin aus, dass während des schlechten Ernährungszustandes der Periode I ein sehr niedriger Wert der Harnsäureausscheidung sich erhält. In der Zeit vom 16. bis 24. Dezember steigt derselbe jedoch an. Man wird kaum fehlgehen, wenn man annimmt, dass in dieser Zeit besonders starker Unterernährung und dauernden Eiweissverlustes ein wachsendes Einschmelzen von Körperzellen eintrat, welches mit erhöhtem Verbrauch von Kernsubstanzen einherging. Diese Zeit war die kritischste des ganzen Versuches, was sich auch in dem Allgemeinbefinden der Hauptmanns H. deutlich aussprach. Als dann die Zufuhr an Eiweiss und Kalorien zu Beginn der III. Periode eine günstigere wird, sinkt die Harnsäureausscheidung in Mischharn IV auf ein Minimum herab, entsprechend der Einschränkung des Zerfalls an Körpereiweiss, um später allerdings, als Stickstoffgleichgewicht und dann sogar ein Eiweissansatz stattfindet, wiederum anzusteigen. Wir finden also mit einem starken Zerfall von Gewebssubstanz eine steigende Ausfuhr von Harnsäure, während mit der Beschränkung des Eiweisszerfalles die Harnsäureausscheidung fast auf Null reduziert wird. Mit dem Erreichen einer auch nur annähernd normalen Ernährung nimmt dann die Harnsäureausscheidung wieder zu, obgleich

1) Arch. f. experiment. Path. u. Ther. Bd. 41 S. 406.

2) Vgl. z. B. Löwi, Untersuchungen über Nukleinstoffwechsel. Arch. f. exper. Ther. u. Pharmak. Bd. 45. 1901.

3) Skandinav. Arch. f. Physiol. Bd. 11 S. 123. 1900.

keine Purinbildner in der Nahrung vorhanden waren. Sollte hierin eine Abhängigkeit der endogenen Harnsäurezufuhr von der Ernährung gefunden sein, so spricht dies trotzdem nicht gegen die Anschauung von Burian und Schur, welche die Unabhängigkeit der endogenen Harnsäureausscheidung von der Ernährung betont. Denn der Fall des Hauptmanns H. gehört sicher zu den Ernährungsanomalien, für welche die genannten Autoren eine gewisse Abhängigkeit der endogenen Harnsäurebildung von der Nahrung ausdrücklich zugeben.

Eine weitere Erwägung, welche von den Vegetariern zugunsten ihrer Diät ins Feld geführt wird, ist die, dass durch die Reizlosigkeit der Kost der Durst vermindert wird und infolgedessen bei rein vegetarischer Ernährung schon durch die Art der Nahrung selbst dem Alkoholmissbrauch gesteuert werde. Dass die vegetarische Kost sich durch besondere Reizlosigkeit auszeichnet, unterliegt mir keinem Zweifel. Ich habe in einem früheren Abschnitte dieser Abhandlung klarzulegen versucht, mit welchen Unzuträglichkeiten eine solche reizlose Diät verknüpft ist. Es ist wohl unbedingt zuzugeben, dass andrerseits durch die gewürzreiche und oft stark gesalzene Ernährungsweise, welche besonders in Norddeutschland und England üblich ist, der Durst in sehr starkem Masse erregt wird. Doch glaube ich, darf man im allgemeinen wohl annehmen, dass es der Durst nicht ist, welcher den Alkohol**missbrauch** bedingt. Nicht umsonst lautet die Redeweise: ein Glas **über** den Durst trinken. Anderseits wird kein einziger leugnen, dass die vegetarische Bewegung sich ein ausserordentliches Verdienst erworben hat und erwirbt durch ihre Bemühungen, den Alkoholmissbrauch einzuschränken. Dass sie dieses durch Verkündung absoluter Abstinenz tut, scheint mir wissenschaftlich ebensowenig begründet zu sein, wie es andrerseits praktisch geboten ist. Denn ein so tief eingesessenes und den Volkswohlstand und die Volksgesundheit derartig untergrabendes Übel wie der Alkoholmissbrauch kann wenigstens für die weniger gebildeten Volksschichten, welche, wie ich glaube, das Hauptkontingent der Alkoholisten stellen, nur durch radikale Massnahmen beseitigt werden, nicht durch die Auseinandersetzung der Temperenzler, obgleich dieselben den Ergebnissen der wissenschaftlichen Forschung weit mehr Rechnung tragen, als dieses die strengen Abstinenzler tun. Doch scheint mir, dass die Verquickung des Vegetarismus mit der Alkoholfrage eine rein äusserliche ist, und dass sich genau ebensogut eine vegetarische Ernährung mit der Aufnahme

von Alkohol vertragen würde, wie denn auch unsere Versuchsperson, der Ingenieur K., trotz einer streng vegetarischen Kost kein absoluter Analkoholist war.

Ein weiterer Vorteil der vegetarischen Diät ist, dass man eine ausreichende Ernährung mit geringerem Geldaufwande erreichen kann. Auch diese Ansicht ist wohl im allgemeinen eine gerechtfertigte, obgleich sich sehr wohl denken liesse, dass bei der Vervollkommnung der vegetarischen Küche und bei Heranziehung mannigfaltiger, darunter auch seltener und daher kostspieliger Pflanzenarten die Kosten auch bei rein vegetarischer Ernährung nicht unerheblich wachsen würden. Andrerseits ist gerade dieses Ziel erstrebenswert, weil der Einförmigkeit der vegetarischen Ernährungsweise dadurch, wie ich glaube, erfolgreich entgegengearbeitet werden könnte. Näher auf diese Frage einzugehen, liegt ausserhalb des Rahmens dieser Arbeit, welche sich lediglich mit der Physiologie des Vegetarismus zu beschäftigen hat.

Die Leistungsfähigkeit bei vegetarischer Diät.

Eines der wichtigsten und zugleich interessantesten Gebiete ist die Frage nach der Leistungsfähigkeit bei vegetarischer Diät. Es ist behauptet worden, dass die vegetarische Kost durch Vermehrung der Verdauungsarbeit, Überfüllung des Magendarmkanals durch schlecht resorbierbares, sehr voluminöses Material, durch die häufig notwendige Nahrungsaufnahme, die Leistungsfähigkeit der betreffenden Personen herabsetzen muss. Diese Anschauung ist in vielen Fällen richtig, aber wir haben bereits gesehen, dass es bei rein vegetarischer Kost möglich ist, die Unzweckmässigkeiten, wie sie eben geschildert worden sind, durch geeignete Zubereitung dieser Kost zu vermeiden. Andrerseits ist von vegetarischer Seite vielfach behauptet worden, dass diese Diät der gemischten nicht nur gleichwertig, sondern sogar überlegen wäre.

Vom rein theoretischen Standpunkte wird sich bei Vermeidung ebengenannter Schädlichkeiten kein Grund absehen lassen, warum die vegetarische Kost den Organismus nicht leistungsfähig erhalten sollte. Die Armut jener Diätform an Eiweiss kann heute nicht mehr als ein Grund für verminderte Leistungsfähigkeit ins Feld geführt werden. Diese Frage hängt innig zusammen mit dem viel erörterten und experimentell von allen Seiten untersuchten Problem nach der Quelle der Muskelkraft. Hauptsächlich dank den Unter-

suchungen von Zuntz[1]) und seinen Schülern wissen wir heute, dass jede der drei grossen Nährstoffgruppen geeignet ist, als Quelle der Muskelkraft zu dienen, und dass sich die verschiedenen Nährstoffe annähernd im Verhältnis ihrer Verbrennungswärme bei der Muskelarbeit vertreten. Es darf dabei vielleicht betont werden, dass dieses Resultat dezennienlanger Forschung zweifellos dasjenige ist, welches dem natürlichen Empfinden am meisten Rechnung trägt. Denn es entspräche kaum der Weisheit der Natur, wenn der wichtigsten Funktion des Organismus derartige Schranken gesetzt wären, dass die Gegenwart eines bestimmten Nährstoffes zu ihrer Ausübung notwendig wäre.

Experimentelle Untersuchungen über die Leistungsfähigkeit streng vegetarisch lebender Individuen lagen zu Beginn dieser Arbeit meines Wissens nicht vor. In dieser Beziehung zu erwähnen ist nur die Mitteilung von Bälz[2]), welche von erstaunlichen Leistungen japanischer Wagenzieher bei rein vegetarischer Diät berichtet. Doch wird hier nur die Tatsache der ausserordentlichen Leistungsfähigkeit dieser Leute bewiesen; in die Verhältnisse des Energieverbrauchs bei der Arbeitsleistung und in die Verwertung der Nährstoffe für dieselbe gewährt die Publikation jedoch keinen Einblick. Wir haben es also wohl mit einer sehr interessanten und sicher sehr wertvollen Beobachtung zu tun, jedoch nicht mit einem wissenschaftlichen Experiment.

Um so mehr musste mir daran liegen, die Leistungsfähigkeit der Vegetarier, welche sich einem Versuch unterwarfen, zu prüfen. Glässner und ich hatten bei unseren Versuchen an dem Ehepaar K. dazu keine Gelegenheit, da die uns zur Verfügung stehende Zeit zu kurz war. Dennoch darf so viel gesagt werden, dass Herr K. den Eindruck eines körperlich und geistig durchaus leistungsfähigen und kräftigen Mannes hervorrief[3]), und dass er von den Turngeräten des Augusta-Hospitals einen ziemlich reichlichen täglichen Gebrauch machte.

Ich habe dann versucht, die genaueren Verhältnisse der Leistungsfähigkeit bei vegetarischer Diät durch Experimente am

1) N. Zuntz, Über den Wert der wichtigsten Nährstoffe für die Muskelarbeit. Untersuchung am Menschen. Sitzung d. Berliner Physiol. Gesellsch. am 25. Juni 1897.

2) Über vegetarische Massenernährung und über das Leistungsgleichgewicht. Berl. klin. Wochenschr. Bd. 38 S. 689. 1901.

3) Siehe Tafel X.

Hauptmann H. festzustellen. Leider muss ich dieses Bemühen als gescheitert bezeichnen. Naturgemäss benutzte ich bei meinen Versuchen die von Zuntz ausgearbeitete Methode der Bestimmung des respiratorischen Stoffwechsels bei der Muskelarbeit, welche ja gerade für die Entscheidung des Problems der Quelle der Muskelkraft sich als so ausserordentlich nützlich und praktisch erwiesen hat. In diesem Falle aber zeigte es sich, wo die Grenzen dieser Methode auch für eine derartige Fragestellung gelegen sind. Die Methode bestimmt bekanntlich den Verbrauch bei einer gemessenen Muskelarbeit, indem sie die Steigerung desselben feststellt gegenüber einem Grundwerte in gleichem Verdauungszustand und absolutester Körperruhe. Die absolute Körperruhe war jedoch bei der Versuchsperson nicht durchzuführen. Dem Hauptmann H., welcher sonst in dankenswertester Bereitwilligkeit alle Beschwerden des Versuches in liebenswürdiger Stimmung über sich ergehen liess, waren diese Ruheversuche ganz besonders verhasst. Nicht weil sie unmässige Anforderungen an ihn stellten, sondern weil er ein absolutes Stillliegen für durchaus unphysiologisch erklärte und den dadurch bedingten Resultaten ein ausserordentliches Misstrauen entgegenbrachte. In der ersten Zeit versuchte er wiederholt dem Mangel durch willkürliche Muskelbewegung abzuhelfen, aber auch später erregte ihn die Vorstellung, dass durch diese fehlerhafte Versuchsanordnung die Idee, um derentwillen er sich solchen Strapazen unterzog, geschädigt werden müsse, in recht erheblichem Masse und verhinderte augenscheinlich ein absolut ruhiges Verhalten. Ich versuchte durch Häufung des Materials zur Feststellung eines einigermassen berechtigten Mittelwertes des Verbrauchs bei Körperruhe zu gelangen. Bei der späteren Zusammenstellung der zahlreichen Versuche ergab sich jedoch, dass dieselben dergestalt im Sauerstoffverbrauch voneinander abwichen, dass an eine Verwendung der Werte nicht gedacht werden konnte. Es schwankte der Sauerstoffverbrauch pro Kilogramm und Minute zwischen 3,27 und 5,64 ccm. Eine Konsequenz der Tatsache, dass ein sicherer Ruhewert nicht festgestellt werden konnte, ist natürlich auch die Unbrauchbarkeit der Arbeitsversuche, so dass dieser Teil der Untersuchung am Hauptmann H. als missglückt angesehen werden muss. Nur einen Punkt möchte ich erwähnen, weil er mir zweifellos gesichert erscheint und des Interesses nicht entbehrt. Es ist das das ausserordentlich schnelle Absinken des respiratorischen Quotienten bei der Arbeitsleistung, welches sich fast durchweg bei den Arbeitsversuchen findet. Es

beweist dieses Absinken des respiratorischen Quotienten, dass der Versuchsperson zu Anfang der Arbeit zwar Kohlehydrate zur Verfügung standen. Diese Kohlehydratmenge war aber ausserordentlich gering, denn sie wurde sehr schnell aufgebraucht, und für die weitere Arbeitsleistung Körpermaterial, Fett und Eiweiss, herangezogen. Die Geringfügigkeit des Kohlehydratbestandes tritt recht instruktiv hervor, wenn wir die Grösse der Arbeit, welche in unserem Falle ein Sinken des respiratorischen Quotienten bewirkte, vergleichen mit derjenigen, welche bei normal genährten Menschen den gleichen Effekt hervorrief. Ähnliche Verhältnisse sind nämlich bereits von Zuntz und Schumburg[1]) am marschierenden Soldaten festgestellt worden, und diese Autoren weisen ausdrücklich auf die genannte Tatsache hin (vgl. die Tabelle l. c. S. 258). Ich habe in der folgenden kleinen Tabelle zum Vergleich einen Versuch aus dem Zuntz-Schumburg'schen Buche herausgegriffen, für welchen ich gerade den kalorischen Wert der Marscharbeit berechnet fand. Den kalorischen Wert der Arbeitsleistung, welche bei den Versuchen am Hauptmann H. dem Sinken des respiratorischen Quotienten vorausging, habe ich in der gleichen Weise berechnet unter der Annahme, dass nur Fett und Kohlehydrate bei der Arbeitsleistung in Betracht kamen, eine Annahme, welche ja vielleicht nicht streng gerechtfertigt ist, bei derartigen Durchschnittszahlen aber eine genügende Annäherung gestattet. Der Berechnung des kalorischen Wertes der Arbeit wurde der respiratorische Quotient der vorhergehenden Versuchsreihe zugrunde gelegt: ein Verfahren, welches ebenfalls sicherlich nicht berechtigt ist, von mir aber deswegen eingeschlagen wurde, weil der respiratorische Quotient im ersten Versuche stets ein höherer war, und der für die Arbeit berechnete Energieverbrauch mit dem Steigen des respiratorischen Quotienten ansteigt. Denn ein Liter Sauerstoff liefert bei Verbrennung von Stärke 5,047, bei derjenigen von Fett nur 4,686 Kalorien. Wir kommen also bei Verwendung des höheren respiratorischen Quotienten zu Maximalwerten für den Arbeitsverbrauch des Herrn H., welche das Resultat a fortiori gelten lassen. Auf diese Weise erhalten wir folgende kurze Zusammenstellung, welche das Gesagte hinreichend illustriert.

1) Zuntz und Schumburg, Physiologie des Marsches. Verlag von Hirschwald, Berlin 1901.

Versuchsperson	Datum	Wärmewert der Arbeitsleistung	R.-Q.
Hauptmann H.	25. Nov.	ca. 30 Kal.	1,09 0,69
" "		" 58 "	0,91 0,73
" "		" 29 "	0,85 0,74
cand. med. P. bei Zuntz-Schumburg, Vers. Nr. 25	28. Mai	" 1700 "	0,84 0,785

Das Absinken des respiratorischen Quotienten bei der Arbeit wurde übrigens auch von Zuntz und Hagemann bei ihren Versuchen über den Stoffwechsel des Pferdes beobachtet, was bei der kohlehydratreichen Kost dieser Tiere besonders plausibel erscheint.

Da also die Respirationsversuche beim Hauptmann H. zur Entscheidung der Frage der Leistungsfähigkeit bei vegetarischer Diät nicht herangezogen werden können, so müssen wir uns in diesem Falle mit Daten der allgemeinen Beobachtung begnügen. In dieser Beziehung bietet die von Herrn H. selbst gegebene Darstellung seines Aufenthaltes in der Klausur ein durchaus zutreffendes Bild. Es geht daraus hervor, dass die körperliche Leistungsfähigkeit im allgemeinen als eine sehr herabgesetzte bezeichnet werden muss, was auch dem Ernährungszustande des Körpers durchaus entsprach. Schon durch die Lebensweise der vorhergehenden Zeit war ja der Organismus des Hauptmanns H. ausserordentlich reduziert, als er sich in die Klausur begab. Infolgedessen wurden auch die zuerst energisch betriebenen Dauerläufe bald aufgegeben. Sie mussten aufgegeben werden wegen einer Schmerzhaftigkeit des Fusses, die Herr H. auf eine alte Verletzung zurückführen zu müssen glaubte. Wie überhaupt, zweifle ich auch in diesem Falle nicht an der objektiven Richtigkeit der Aussage des Herrn H., dass er ohne diese Schmerzen den Dauerlauf noch einige Zeit lang hätte fortsetzen können. Dagegen möchte ich sehr bezweifeln, dass die Fortsetzung des Dauerlaufs noch für längere Zeit möglich gewesen wäre, da der allgemeine Kräfteverfall ein stets fortschreitender während des Versuches war und gegen Ende Dezember einen hochgradigen Charakter annahm. Auch in der Deutung des Fussübels möchte ich mich der Ansicht des Herrn H. nicht anschliessen. Ich habe durchaus den Eindruck, dass die Schmerzen im Fusse, welche ein weiteres Ausführen der Dauerläufe unmöglich machten, bedingt wurden durch den Schwund

des Fettes an der Planta pedis. Dies scheint mir daraus hervorzugehen, dass erstens ein Nachweis einer Verletzung oder Schwellung unmöglich war: weder die behandelnden Herren des Krankenhauses noch ich selbst konnten das geringste nachweisen. Ferner steigerten sich die Beschwerden trotz grosser Schonung, und im weiteren Verlauf des Versuches wurde auch ruhiges Gehen durch Schmerzen in beiden Füssen sehr erschwert, ja, zum Schlusse war selbst das Stehen mit unangenehmen Empfindungen verbunden. Auch die vorher betriebenen Kniebeugen wurden mit dem Beginn des Fussleidens aufgegeben und nur die Hantelübungen fortgesetzt. Über die Grösse dieser Muskelarbeit lässt sich schwer etwas aussagen, da die Sandow'schen Hanteln, welche zur Verwendung kamen, aus einer Anzahl Spiralfedern gebildet sind, deren Zusammendrücken mit dem Heben und Senken der Hanteln verbunden wird, so dass also die Arbeitsleistung je nach dem stärkeren oder geringeren Zusammenpressen der Federn eine äusserst verschiedene sein kann. Doch beobachtete ich auch bei den Arbeitsversuchen im Laboratorium ein baldiges Ermüden. Dieser Umstand ist aber zum Teil wiederum auf den Fettschwund an der Fusssohle und das dadurch bedingte unsichere und schmerzhafte Gehen und Stehen zurückzuführen; denn wir wissen aus den Versuchen von Zuntz und Schumburg[1]), dass derartig erschwerende Momente den Energieverbrauch bei einer Muskelarbeit nicht unwesentlich steigern.

Im Gegensatz zu diesem allgemeinen Nachlassen der Körperkräfte steht die vom Hauptmann H. in seinen Angaben mitgeteilte Tatsache, dass er auch am Ende des Versuches seine Muskelkraft dadurch zeigte, dass er mit einer Anzahl von Herren gerungen hat und dabei eine verhältnismässig erhebliche Kraft entwickelte. Er rang damals mit Herrn Geheimrat Professor Dr. Goldscheider, Herrn Geheimrat Professor Dr. Zuntz, Herrn Dr. Alexander, dem damaligen Leiter der Station, Herrn Dr. Völtz und mir. Ein jeder der Herren war über die dabei von Herrn H. entwickelte Muskelkraft erstaunt. Hierbei ist aber zu bemerken, dass dieses Ringen am Ende des Versuches statthatte, also zu einer Zeit, in welchem der Allgemeinzustand des Herrn H., wie die Daten des Versuchs lehren, ein wesentlich besserer war als in den vorhergehenden Versuchsabschnitten. Dennoch muss man die Kraftleistung als eine verblüffende bezeichnen, wenn man die beiliegenden Photo-

1) l. c. S. 265.

graphien[1]) betrachtet, welche den Körperzustand des Herrn H. am Ende des Versuches wiedergeben. Diese Photographien sprechen wohl für sich selbst und bedürfen keiner weiteren Erläuterung. Sie zeigen das Bild eines Körpers, wie wir ihn sonst wohl nur bei den hochgradigsten Kachexien zu sehen bekommen; doch ist gerade die Oberarmmuskulatur wie das eine der Bilder erkennen lässt, verhältnismässig gut erhalten. Aufmerksam machen möchte ich auch auf die Auftreibung des Abdomens, welche durch die Anhäufung und Gärung von zellulosehaltigen Nahrungsmittelbestandteilen im Magendarmkanal bedingt sein dürfte.

Wenn wir aber eine derartige Muskelleistung wie diejenige, welche Herr H. am Ende des Versuches beim Ringen zeigte, richtig würdigen wollen, dürfen wir auch das psychische Moment nicht ausser acht lassen. Es ist ganz zweifellose Erfahrungstatsache, dass der Wille in körperlicher Beziehung Ausserordentliches vermag, und wohl jeder, der selbst in die Lage gekommen ist, Körperleistungen bis zur vollkommenen Erschöpfung auszuführen, kennt diesen Einfluss der Willenskraft auf die Muskelleistungen. Ein sehr lehrreiches Analogon zu dieser Körperleistung des Herrn H. bietet ja auch der ergographische Versuch, welchen Succi am 29. Hungertage ausgeführt hat. Trotzdem die ergographische Leistung Succi's durchaus nicht erheblich gegenüber derjenigen von Luciani selbst zurücksteht, wird dennoch wohl niemand auf den Gedanken kommen, ein 29tägiges Hungern für eine geeignete Form der Ernährung zu halten. Auf den kolossalen Einfluss der Willenskraft auf körperliche Maximalleistungen werden wir im weiteren Verlaufe näher einzugehen haben.

Völlig zutreffend sind ferner die Angaben, welche Herr H. über seine geistige Arbeit macht. In der Tat war dieser Herr während der Klausur von ganz erstaunlichem Fleisse, und dicke Hefte füllten sich mit schön geschriebenen Übersetzungen in lateinischer, französischer, englischer Sprache, zahlreichen deutschen Aufsätzen und mathematischen Übungen. Wie weit allerdings diese Tätigkeit eine äusserliche gewesen ist, vermag ich nicht zu beurteilen. Man wird zugeben, dass in dieser Beziehung ein gar zu ausschliessliches schriftliches Arbeiten immerhin einigen Verdacht erregen muss. Andrerseits ist ja die dauernde geistige Arbeitsfähigkeit bei einer fortschreitenden schlechten Ernährung des Körpers nicht so sehr

1) Siehe Tafel IX.

erstaunlich. Denn einerseits wissen wir aus den Versuchen von Speck[1]), dass geistige Tätigkeit mit einem ausserordentlich geringen Stoffverbrauch verbunden ist, andrerseits haben uns z. B. die Versuche von Sedlmair[2]) gelehrt, dass beim verhungerten Tiere das Gehirn kaum an Gewicht abnimmt. Auch die oft grossen geistigen Leistungen an schweren Erschöpfungskrankheiten Leidender sind bekannt.

Erfreulicherweise gelang es mir, die Lücke, welche durch das Misslingen der Respirationsversuche an Herrn H. gelassen war, durch eine Reihe anderer Untersuchungen befriedigend auszufüllen. Hierzu hatte ich Gelegenheit anlässlich eines Dauermarsches, welchen der Sportklub „Komet" im Frühjahr des Jahres 1902 unternahm. Über den allgemeinen Verlauf dieses Marsches habe ich bereits in Gemeinschaft mit Herrn Albu, welcher die klinischen Beobachtungen übernommen hatte, eine kurze Mitteilung publiziert[3]). Hier möchte ich nun die von mir bei den physiologischen Untersuchungen während des Trainings der Versuchspersonen gewonnenen Daten mitteilen. Diese Versuchspersonen waren die beiden Champions des Sportklubs. Von diesen war der eine, Herr K. M., ein junger Kaufmann, am 5. März 1874 geboren, war also damals 28 Jahre alt. Im Jahre 1894 gab er infolge der Lektüre des Buches von Professor Förster: „Die soziale Bedeutung des Vegetarismus" den Fleischgenuss auf. Von Ende März 1901 ab lebte er streng vegetarisch, d. h. ohne Milch, Butter, Käse oder Eier. Seit Anfang des Jahres 1898 schon vermied er als Anhänger Haig's den Genuss der Hülsenfrüchte. Seit dem Jahre 1900 genoss er Kellogg'sche Präparate, besonders Erdnuss (pea-nut), auch Bromose. Von Sport trieb er seit März 1896 das Radfahren. Er war bald bester Strassenfahrer der Radfahrvereinigung der Berliner Turnerschaft. Im Jahre 1898 trug er seinen ersten Erfolg als Dauergänger davon. Er gewann damals den Marsch rund um Berlin. M. legte die Strecke von 15 Meilen in 14 Stunden 11 Minuten zurück.

Seine vorzüglichen körperlichen Fähigkeiten verdankte er aber weniger besonderen Sportübungen als vielmehr „einer mit pedantischer Gewissenhaftigkeit betriebenen durchgreifenden Körperausbildung

1) Physiologie des menschlichen Atmens. Leipzig 1892.

2) Zeitschr. f. Biol. Bd. 37 S. 25. 1898.

3) Bericht über die Untersuchungen bei den Dauergehern beim Distanzmarsch Dresden—Berlin am 18. und 19. Mai 1902. Deutsche med. Wochenschr.

nach Sandow". Diese allgemeine Ausbildung seines Körpers befähigt Herrn M. nach seiner Meinung, sich mit jedem Sport zu befassen und dabei gute Durchschnittswerte oder gar Maximalleistungen zu erreichen.

Der zweite Favorit war Herr J. B., ein junger Mechaniker, geboren am 11. Februar 1876, war also damals im Alter von 26 Jahren. Seit dem Jahre 1895 trainierte er vorschriftsmässig im Gehsport. Er gewann schon im selben Jahre die „Meisterschaft von Berlin im Gehen über 100 km" in 12½ Stunden. Vom Jahre 1896 ab widmete er sich auch dem Laufsport und errang 1897 die „Meisterschaft von Deutschland im Laufen über 7500 m" in 26 Minuten 6 Sekunden. 1898 gewann er die „Meisterschaft von Österreich im Laufen über vier englische Meilen" usw. Nach dem Wettmarsch, hat er am 13. September 1903, den Weltrekord im Gehen über ¼ englische Meile (402,25 m) in 1 Minute 20,5 Sekunden aufgestellt.

Jedenfalls geht aus diesen Angaben hervor, dass wir es mit einem Sportsman erster Klasse zu tun hatten.

B. genoss eine gemischte, soweit wir es beobachten konnten, sogar reichlich Fleisch enthaltende Kost. M. war strengster Abstinenzler; B. dagegen nahm alkoholische Getränke zu sich. Der Dauermarsch, welcher geplant war, war für Fussgänger aller Nationen offen und sollte in der Zurücklegung der Strecke von Dresden nach Berlin bestehen. Diese Strecke beträgt 202 km = 27 deutsche Meilen. Herr M. und Herr B. stellten sich uns nun während des Trainings für einige Versuche zur Verfügung. Dieselben wurden in der Weise ausgeführt, dass die Versuchspersonen morgens in aller Frühe erschienen und nach vorhergehender Wägung auf die oft beschriebene Tretbahn geführt wurden. Dort wurden mehrere Atemversuche im Gehen an ihnen angestellt. Darauf marschierten sie von der landwirtschaftlichen Hochschule nach Saatwinkel und kehrten dann zur Hochschule zurück. Dieser Weg wurde deswegen gewählt, weil er bereits früher von Zuntz und Schumburg bei den Untersuchungen an marschierenden Soldaten benutzt und bei dieser Gelegenheit seine Länge genau eruiert worden war. Der Hin- und Rückweg zusammen betrug 24,75 km. Nach ihrer Rückkehr wurde dann ein weiterer Versuch auf der Tretbahn gemacht, hierauf dieselbe Strecke von 24,75 km nach einer kurzen Mittagspause nochmals zurückgelegt und nach der Rückkehr neue Versuche auf der Tretbahn angeschlossen. Während des ganzen Tages wurde übrigens das Körpergewicht genau kontrolliert, das Gewicht der aufgenommenen

Nahrung und der ausgeschiedenen Exkrete festgestellt, um so die Daten für die insensible Perspiration zu gewinnen.

Was die körperliche Beschaffenheit der beiden Versuchspersonen betraf, so war der Vegetarier K. M. von 1,635 m Körpergrösse, dabei ausserordentlich breitschultrig und von kräftiger, gleichmässig entwickelter Muskulatur. Die beigegebene Photographie ist neueren Datums und lässt die Armmuskulatur weniger stark hervortreten als es zur Zeit des Dauermarsches der Fall war. Dagegen zeigt sich der mächtige Thorax auf diesem Bilde sehr deutlich[1]). In der Tat braucht man diesen Mann nur zu betrachten, um einen lebenden Beweis vor sich zu sehen, wie wenig die vegetarische Diät bei verständiger Ausführung der Entwicklung und Erhaltung eines kräftigen und muskulösen Körperbaues entgegensteht.

Herr J. B. war grösser als Herr M. Seine Körpergrösse war 1,75 m. Er machte einen weit zierlicheren Eindruck und zeigte einen aussergewöhnlich schön proportionierten Körperbau. Seine Muskulatur dagegen war durchaus nicht so gleichmässig ausgebildet wie diejenige des Herrn M., was wohl sicherlich seinem mehr einseitigen Training zugeschrieben werden muss. Speziell an Armmuskulatur und Brustumfang konnte er sich nicht mit seinem Rivalen messen. Das mittlere Körpergewicht des Herrn M. betrug 61,175 kg, das des Herrn B. 63,18. Zur Beurteilung des Eiweissbestandes des Körpers geben die Respirationsversuche in absoluter Ruhe einen Anhalt. Es wurden gefunden als Mittel mehrerer miteinander gut harmonierender Ruheversuche:

Name	O-Verbrauch pro Minute	CO_2-Verbrauch pro Minute	Körpergewicht	O-Verbrauch pro kg und Minute	CO_2-Verbrauch pro kg und Minute	R. Q.
	ccm	ccm	kg	ccm	ccm	
M.	336,4	254,55	61,175	5,499	4,161	0,76
B.	298,4	217,0	63,18	4,723	3,435	0,73

Vergleichen wir diese Daten mit anderen, so finden wir, dass der Sauerstoffverbrauch des Herrn M. ein ausserordentlich hoher ist. Unter den kräftigen Männern, welche z. B. Magnus-Levy[2]) anführt, ist der höchste Wert der Sauerstoffausscheidung pro Kilogramm und Minute bei einem 24jährigen jungen Mann 4,53 ccm.

1) Siehe Taf. X. Das Bild ist in maximaler Inspirationsstellung aufgenommen.

2) Magnus-Levy und Ernst Falk, Lungengaswechsel in verschiedenen Altersstufen. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1899 Suppl.

Zuntz und Schumburg erhielten für Herrn cand. med. P. einen Verbrauch von 4,12 ccm O pro Kilogramm Körpergewicht. In den Versuchsprotokollen wird angegeben, dass Herr P. eine sehr starke Muskulatur besessen habe. Der Wert des Sauerstoffverbrauches pro Kilogramm Körpergewicht bei absoluter Körperruhe für Herrn M. ist meines Wissens der höchste, welcher bisher bei gesunden Menschen festgestellt ist. Dagegen ist der Wert für Herrn B. zwar ebenfalls ein sehr hoher, doch existieren einige Angaben, in welchen derselbe bereits übertroffen worden ist. So hat Löwy[1]) Daten angegeben, nach welchen bei besonders kräftigen Arbeitern der Sauerstoffverbrauch in der Ruhe ähnlich demjenigen des Herrn M. 5,36 bezw. 5,14 ccm pro Kilogramm Körpergewicht betrug. Der Grund für diesen hohen Verbrauch muss augenscheinlich in der starken Muskulatur der betreffenden Individuen gesehen werden. Von den Faktoren, welche den Kraftverbrauch, für welchen der Sauerstoffverbrauch ja nur ein Mass ist, bedingen, fällt der eine, die Grösse der Körperoberfläche, wohl in diesem Falle fort, da ein wesentlicher Unterschied durch die Verschiedenheit derselben hier kaum bedingt sein kann, und so bleibt nur der durch den Eiweissgehalt, speziell die Muskulatur bedingte Verbrauch als unterscheidendes Merkmal bestehen, dessen Bedeutung ja neben anderen diesbezüglichen Befunden besonders schön wiederum aus den Angaben von Zuntz und Schumburg hervorgeht. Diese fanden, dass mit der im Verlaufe der Märsche sich kräftiger ansetzenden Muskulatur der Ruheverbrauch pro Kilogramm Körpergewicht bei ihren Versuchspersonen anstieg. So stieg er bei dem erwähnten Herrn P. von 4,04 ccm auf 4,30, bei Herrn cand. med. B. von 3,74 auf 4,24 ccm Sauerstoff. Man kann also aus diesen vorliegenden Werten für den Ruheverbrauch meiner Versuchspersonen M. und B. den Schluss ziehen, dass Herr M. der muskulaturkräftigere von beiden Personen war.

Die Resultate der Arbeitsversuche auf der Tretbahn mögen in folgenden Tabellen zusammengestellt sein. In dieser Tabelle enthalten Stab 6 und 7 den Gesamt-Sauerstoffverbrauch resp. Kohlensäureausscheidung, Stab 10 den dazu gehörigen respiratorischen Quotienten. Dagegen ist in Stab 8 und 9 der Sauerstoffverbrauch abzüglich des Ruhewertes zugrunde gelegt.

---

1) A. Loewy, Ueber den Einfluss der Abkühlung auf den Gaswechsel des Menschen. Pflüger's Arch. Bd. 46 S. 197. 1890.

1. M.

1. Datum u. Nr. 1902	2. Zeit	3. Weg pro Minute m	4. Zu bewegendes Gewicht kg	5. Volumen der Atemluft reduziert l	6. Sauerstoffverbrauch pro Min. ccm	7. CO_2-Ausscheidung pro Min. ccm	8. Sauerstoffverbrauch pro m Weg ccm	9. Sauerstoffverbrauch pro m Weg und kg Gew. ccm	10. R. Q.	11. Bemerkungen
25. April										Zu Versuch I a.
I a	7 h 27′ a. bis 7 h 46′	?	(65,380)	(25,75)	(1926,1)	(1624,9)	—	—	(0,84)	Tourenzähler wurde von der Tretbahn nicht ordentlich mitgenommen, daher Wegmessung ungenau. Versuch wird bei der Mittlung der Werte nicht berücksichtigt.
I b	7 h 52′ bis 8 h	142,9	65,380	25,34	2166,5	1827,0	12,81	0,196	0,84	
II a	11 h 26′ bis 11 h 39,5′	138,9	62,908	25,97	2156,1	1605,4	13,13	0,209	0,74	
II b	11 h 50′ bis 11 h 58′	142,9	62,908	28,29	2271,9	1702,8	13,55	0,215	0,75	
III a	3 h 58′ p. bis 4 h 6′	137,6	61,267	24,04	2101,7	1482,3	12,83	0,210	0,71	
III b	4 h 13′ bis 4 h 21′	134,9	61,267	25,58	2016,1	1532,5	12,45	0,203	0,76	
	Mittel	139,44	63,185	25,84	2142,5	1630,0	12,95	0,207	0,76	

2. B.

1. Datum u. Nr. 1902	2. Zeit	3. Weg pro Minute m	4. Zu bewegendes Gewicht kg	5. Volumen der Atemluft reduziert l	6. Sauerstoffverbrauch pro Min. ccm	7. CO_2-Ausscheidung pro Min. ccm	8. Sauerstoffverbrauch pro m Weg ccm	9. Sauerstoffverbrauch pro m Weg und kg Gew. ccm	10. R. Q.	11. Bemerkungen
22. April										Zu Versuch I a.
I a	7 h 10′ a. bis 7 h 32′	(107,6)	(67,220)	(27,81)	(1713,1)	(1529,6)	(13,15)	(0,196)	(0,89)	Unregelmässiger Gang der Tretbahn. Versuch daher bei der Mittlung nicht berücksichtigt.
I b	7 h 38′ bis 7 h 47′	122,2	67,220	24,25	1864,4	1430,4	12,82	0,191	0,77	
II a	11 h 9′ bis 11 h 17′	126,5	66,510	25,98	2100,6	1518,5	14,25	0,218	0,72	
II b	11 h 23′ bis 11 h 32′	132,8	65,510	26,07	2091,2	1634,9	13,50	0,206	0,78	
III a	3 h 37′ p. bis 3 h 45′	130,7	64,540	26,51	2057,0	1505,7	13,45	0,208	0,73	
III b	3 h 49′ bis 3 h 58′	134,3	64,540	26,37	2112,2	1574,0	13,82	0,209	0,75	
26. April										
I a	7 h 7′ a. bis 7 h 16′	129,1	67,081	23,55	1966,3	1575,4	12,92	0,194	0,80	
I b	7 h 21′ bis 7 h 29′	134,4	67,081	24,08	2190,3	1731,3	14,08	0,211	0,79	
II a	1 h 18′ p. bis 1 h 28′	133,1	63,860	22,55	2108,6	1472,8	13,60	0,213	0,70	
II b	1 h 32′ bis 1 h 40′	134,9	63,860	23,26	2002,8	1509,6	12,63	0,198	0,75	
III a	5 h 45′ bis 5 h 53′	135,7	63,900	24,63	2145,0	1517,0	13,60	0,213	0,71	
III b	5 h 57′ bis 6 h 5′	134,9	63,900	24,09	2052,4	1474,3	13,00	0,204	0,72	
	Mittel	131,7	65,351	24,67	2062,8	1540,4	13,43	0,206	0,75	

Das auffallende Resultat dieser Versuchsreihen ist die absolute Gleichheit des Sauerstoffverbrauchs bei beiden Personen, pro Meter Weg und Kilogramm Gewicht berechnet. Wenn natürlich auch die Identität der Werte bis zur dritten Dezimale auf einem Zufall beruht, so ist die allgemeine Übereinstimmung der einzelnen Versuche untereinander doch eine so grosse, dass es schwer fällt, an blosse Zufälligkeiten zu glauben. Dieses Resultat wird besonders interessant durch den Umstand, dass die Art, in welcher beide Personen die Muskelarbeit vollführten, eine durchaus verschiedene war. Der Vegetarier M. ging im Marey'schen Beugegang, welcher bekanntlich darin besteht, dass bei weitem Ausschreiten die Kniee niemals in Streckstellung gelangen. Dadurch wird nach Marey's Berechnung die zweckmässigste und schnellste Art des Gehens über grosse Strecken gegeben. Bekanntlich ist diese Art des Marsches bei den Bersaglieri der italienischen und den Spahis der französischen Armee eingeführt worden, und auch im deutschen Heere hat man wiederholt Versuche gemacht, diese Gangart, welche nach ihrer ganzen Natur ein Mittelding zwischen dem gewöhnlichen Gang und dem Laufschritt bildet, bei der Infanterie einzuführen. Der Gemischtkostler B. dagegen ging im athletischen Turnerschritt, indem er den Oberschenkel verhältnismässig stark hob und die Kniee nach dem Aufsetzen des Standbeines durchdrückte: eine Gangart, welche durchaus nicht einen so zweckmässigen Eindruck machte wie die von dem Vegetarier M. gewählte. Sollte, was nach der ausgezeichneten Übereinstimmung der einzelnen Versuche untereinander durchaus wahrscheinlich erscheint, diesem Resultate ein allgemeines Gesetz zugrunde liegen, so würde sich dasselbe etwa folgendermassen formulieren lassen: Maximal trainierte Menschen leisten die gleiche Arbeit, auf welche sie trainiert sind, mit gleichem Verbrauch, unabhängig von der Art der Ernährung, speziell vom Eiweissreichtum der Nahrung, wenn dieselbe an sich ausreichend ist. Auch die besondere Art, in welcher die Arbeitsleistung ausgeführt wird, ist nicht ausschlaggebend für den Energieaufwand, wenn nur die Muskelgruppen, welche in Frage kommen, für die Leistung maximal trainiert sind.

Ebenso schön treten diese Verhältnisse hervor, wenn wir den kalorischen Wert der geleisteten Muskelarbeit berechnen. Wir können dies nach der von Zuntz angegebenen und besonders in seinen Ver-

suchen mit Schumburg am marschierenden Soldaten angewandte Methode. Hierbei wird der Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäureausscheidung bei der Arbeitsleistung abzüglich des Ruheverbrauches der Berechnung zugrunde gelegt. Von diesen Werten werden diejenigen in Abzug gebracht, welche dem während der Arbeitsleistung zerfallenen Eiweiss entsprechen, für das die Stickstoffausscheidung im Harn den Massstab darstellt. Nach Abzug des für die Verbrennung des Eiweisses aufgenommenen Sauerstoffes und der dabei gebildeten Kohlensäure erhalten wir nunmehr neue Daten für Sauerstoffverbrauch, Kohlensäureausscheidung und respiratorischen Quotienten. Diese Werte sind auf die für die Arbeit verbrauchten Fette und Kohlehydrate zu beziehen. Auf den Anteil eines jeden dieser beiden Nährstoffe an dem Verbrauche wird aus dem respiratorischen Quotienten geschlossen (Genaueres hierüber s. Zuntz und Schumburg l. c. S. 259 ff.). Die Summe des kalorischen Wertes der bei der Arbeit über den Ruheverbrauch hinaus umgesetzten Nährstoffe ergibt den kalorischen Wert dieser Arbeit.

Leider konnte der Stickstoffgehalt des Harns unserer Versuchspersonen während der Übungsmärsche nicht ermittelt werden; dagegen erklärten sich beide Herren bereit, den während des Dauermarsches selbst entleerten Harn quantitativ aufzufangen. Wie wir später sehen werden, wurde jedoch der Dauermarsch nur von dem einen unserer Versuchspersonen, Herrn M., durchgeführt, so dass nur für diesen die Stickstoffausscheidung während des Marsches bekannt ist. Herr M. schied während des gesamten Marsches 19,01 g N im Harn aus. Ferner wurde auch der in den Kleidern enthaltene Schweiss gesammelt und sein Stickstoffgehalt bestimmt. Es wurden im Schweisse während des Marsches 1,5 g N, in Summa also 20,51 g N ausgeschieden. Da der Marsch ca. 27 Stunden währte, kamen auf die Stunde 0,76 g N, auf die Minute 13 mg N. Letzterer Wert entspricht 78,8 ccm O_2, 62,5 ccm CO_2, 352,8 kal. Diese Zahlen habe ich in Rechnung gestellt, obgleich ich mir natürlich bewusst bin, dass ich damit einen gewissen Fehler begehe. Doch kommt demselben zweifellos keine wesentliche Bedeutung zu, denn selbst, wenn ich das zerfallene Eiweiss gar nicht berücksichtige und die Annahme mache, dass nur Fette und Kohlehydrate für die Arbeit verbraucht worden wären, erhalte ich Werte, welche mit den in der folgenden Tabelle Stab 7 angegebenen fast vollkommenen identisch ist.

1. M.

1. Datum	2. Stunde	3. Sauerstoffverbrauch pro Min. n. Abzug d. Ruhewertes ccm	4. CO_2-Ausscheidung pro Min. n. Abzug d. Ruhewertes ccm	5. Arbeits-R.-Q.	6. Pro m Weg u. kg Gew. O-Verbrauch ccm	7. Pro m Weg u. kg Gew. Energie-Verbrauch kal.	8. Bemerkungen
25. April	7 h 52′ bis 8 h	1830,1	1572,4	0,86	0,196	0,952	Abmarsch 8 h 9′. Rückkehr 11 h 6′. Also 24,75 km in 177 Min. Also 1 km in ca. 7 Min. Keine Nahrungsaufnahme.
	11 h 26′ bis 39,5′	1819,7	1350,8	0,74	0,209	0,982	Nach dem Marsch etwas Biskuit, eine Apfelsine, Bromose, Feigen, zusammen 257 g. 387 g alkoholfreien Weinmostes, 60 g Wasser. Abmarsch 12 h 30′. Rückkehr 3 h 35′. Also 24,75 km in 185 Min. Also 1 km in ca. 7,5 Min. Unterwegs 367 g Weinmost getrunken.
	11 h 50′ bis 11 h 58′	1935,5	1448,2	0,75	0,215	1,018	
	3 h 58′ bis 4 h 6′	1765,3	1227,7	0,70	0,210	0,979	
	4 h 13′ bis 4 h 21′	1679,7	1277,9	0,76	0,203	0,963	
	Mittel	1806,1	1375,4	0,76	0,207	0,979	

2. B.

1. Datum	2. Stunde	3. Sauerstoffverbrauch pro Min. n. Abzug d. Ruhewertes ccm	4. CO_2-Ausscheidung pro Min. n. Abzug d. Ruhewertes ccm	5. Arbeits-R.-Q.	6. Pro m Weg u. kg Gew. O-Verbrauch ccm	7. Pro m Weg u. kg Gew. Energie-Verbrauch kal.	8. Bemerkungen
22. April	7 h 38′ bis 7 h 47′	1566,0	1213,4	0,77	0,191	0,906	Vor Ankunft im Laboratorium aufgenommen: 60 g Weissbrot und 1/4 Liter Milch.
	11 h 9′ bis 11 h 17′	1802,2	1301,5	0,72	0,218	1,020	Abmarsch 7 k 55′. Rückkehr 11 h; also zurückgelegt 24,75 km in 185 Min. Für den km also gebraucht im Durchschnitt 7,5 Min. Unterwegs genommen 20 g Cakes.
	11 h 23′ bis 11 h 32′	1792,8	1417,9	0,79	0,206	0,984	Nach dem Marsche 209 g Kotelett und Schrippe, 262 g Wein, 871 g Wasser. Abmarsch 12 h 12′. Rückkehr 3 h 24′. Also 24,75 km in 192 Min. Pro km also 7,8 Min. Unterwegs und vor dem Versuch 306 g Wein, 710 g Wasser.
	3 h 37′ bis 3 h 45′	1758,6	1288,7	0,73	0,208	0,981	
		1813,8	1357,3	0,75	0,209	0,991	
26. April	7 h 7′ bis 7 h 16′	1667,9	1358,4	0,81	0,194	0,924	
	7 h 21′ bis 7 h 29′	1891,9	1514,3	0,80	0,211	1,005	Abmarsch 7 h 35′. Rückkehr 1 h. Genommen 219 g Wasser, 27 g Cakes. Für die 24,75 km also gebraucht 325 Min. Also pro km 13 Min.
	1 h 18′ bis 1 h 28′	1810,2	1255,8	0,69	0,213	0,996	Nach dem Marsch genommen 246 g Kotelett und Semmel, 149 g Wein, 476 g Wasser. Abmarsch 2 h 15′. Rückkehr 5 h 30′, also 24,75 km in 195 Min. Also pro km 7,9 Min. Unterwegs gegessen 27 g Cakes, eine grosse Weisse getrunken.
	1 h 38′ bis 1 h 40′	1704,4	1292,6	0,76	0,198	0,938	
	5 h 45′ bis 5 h 53′	1846,6	1300,0	0,70	0,213	0,996	
	5 h 37′ bis 6 h 5′	1754,0	1257,3	0,72	0,204	0,952	
	Mittel	1764,4	1323,4	0,75	0,206	0,972	

Zweckmässig erschien es mir ferner, in dieser Tabelle zugleich einen Überblick über die Nahrungsaufnahme während der Versuche zu geben (Stab 8).

Also trotz der Verschiedenheit der Ernährung besteht eine vollständige Übereinstimmung des kalorischen Wertes der Marscharbeit bei beiden Dauergängern, vollkommen konform mit der Übereinstimmung im Sauerstoffverbrauch.

Natürlich habe ich gesucht, in der vorliegenden Literatur Angaben zu finden, welche geeignet sein könnten, das hier aufgestellte Gesetz zu illustrieren und zu festigen. Leider aber existieren nur wenige Daten, welche sich mit den vorliegenden vergleichen liessen. Keine von den Versuchspersonen von Katzenstein, Magnus-Levy, Zuntz und Schumburg haben bei ihren Marschversuchen eine Geschwindigkeit gewählt, welche an diejenige heranreicht, die den Versuchspersonen M. und B. die angenehmste war, und für welche augenscheinlich ihr Training auch das vorzüglichste gewesen ist. Dagegen hat Leo Zuntz[1]) bei seinen Untersuchungen über den Gaswechsel und Energieumsatz des Radfahrers Gehversuche angestellt, bei welchem er ein annähernd gleiches Tempo gewählt hat. Wenn ich unter Annahme eines gleichbleibenden Körpergewichts von 72,7 kg die entsprechenden Werte berechne, so finde ich folgende Zahlen:

Datum	Nr. des Versuchs	m Weg pro Minute	Sauerstoffverbrauch	
			pro m Weg	pro kg Gewicht und m Weg
26. Okt.	I	145,5	15,928	0,219
	II	140,5	16,783	0,231
	III	135,74	16,215	0,223
	IV	137,09	15,563	0,214
	V	143,68	15,953	0,219
	VI	138,12	17,608	0,242
Mittel		140,11	16,342	0,225

Hier ist der Verbrauch für die gleiche Arbeit ein höherer, was aber nichts gegen die Gültigkeit des oben ausgesprochenen Gesetzes beweist. Für Leo Zuntz war diese Marschgeschwindigkeit die maximalste, welche von ihm erreicht werden konnte, und wir wissen, dass mit steigender Geschwindigkeit der Verbrauch pro Meter Weg und Kilogramm Gewicht ansteigt. Es ist daher nicht zu verwundern,

1) S. 26 und 27. Verlag von Hirschwald, 1899.

wenn der Sauerstoffverbrauch bei L. Zuntz pro Meter Weg und Kilogramm Gewicht bei annähernd gleicher Geschwindigkeit wie diejenige, welche die Dauergänger gewählt haben, um 9 % höher ist. In diesen 9 % Ersparnis haben wir eben die Folgen des Trainings der Dauergänger zu erblicken. Erstaunlich kann nur sein, dass dieser Unterschied ein so geringer ist. Doch wird man dabei bedenken müssen, dass mehr oder weniger jeder kräftige junge Mann gerade auf die Körperbewegung des Gehens trainiert ist und besonders Leo Zuntz war ein rüstiger und geübter Fussgänger.

Betrachten wir noch einmal die kalorischen Werte für den Verbrauch pro Kilogramm und Meter zurückgelegten Weges bei unseren beiden Versuchspersonen. Wenn wir die Mittelwerte aus den zeitlich zusammengehörigen Versuchen berechnen, so finden wir folgende Zahlen:

Versuchsperson	Datum	Nr.	Kalorisches Äquivalent d. Marscharbeit pro m Weg und kg Gewicht
M.	25. April	I	0,952
		II	1,000
		III	0,971
B.	22. „	I	0,906
		II	1,002
		III	0,986
	26. „	I	0,965
		II	0,967
		III	0,974

Wenn man diese einzelnen Zahlen vergleicht, so fällt für die Versuche bei M. am 25. und diejenigen von B. am 22. der höhere Verbrauch bei Marsch II gegenüber demjenigen bei Marsch I auf. Wenn dieser Mehrverbrauch eine Folge von Ermüdung ist, so muss dieselbe doch eine auffallend geringe gewesen sein, weil er durch Nahrungsaufnahme annähernd kompensiert werden konnte. Dies geht aus dem Absinken der Werte für den Versuch III hervor, welcher nach mehr oder minder reichlicher Nahrungsaufnahme, aber auch nach einem weiteren Marsche von 24 km gewonnen worden ist. Immerhin zeigt sich der Verbrauch in Versuch III gegenüber dem in Versuch I durchweg gesteigert. In dem Versuch an B. vom 26. April zeigen Versuch I und II fast identische Werte. Erst Versuch III weist eine geringe Steigerung auf.

Eine stetige Erfahrung bei allen diesbezüglichen Versuchen ist die Zunahme des Verbrauches mit wachsender Geschwindigkeit. Dieselbe ist von Katzenstein[1]), Zuntz und Schumburg[2]), Leo Zuntz[3]) für den Menschen, von Zuntz und Hagemann[4]) für das Pferd festgestellt worden, während in den Versuchen an Hunden sich diese Regel allerdings bisher nicht bestätigt hat[5]).

Auch bei diesen besttrainierten Männern, welche wir untersuchen konnten, zeigt sich das Ansteigen des Verbrauches für erhöhte Geschwindigkeit. Diesbezüglich liegen zwei Versuche an dem Vegetarier M. vor, in welchen die Marschgeschwindigkeit derartig gesteigert wurde, dass auch dieser Dauergänger das Tempo als ein sehr schnelles empfand. (Siehe nebenstehende Tabelle.)

Wir finden demnach:

bei einer Geschwindigkeit von 139 m in der Minute einen Verbrauch von 979 kal. pro Kilometer Weg und Kilogramm Gewicht,

bei einer Geschwindigkeit von 177 m in der Minute einen Verbrauch von 1169 kal. pro Kilometer Weg und Kilogramm Gewicht.

Es wächst demnach der Verbrauch für eine Vermehrung der Geschwindigkeit um 38 m pro Minute um 90 kal. pro Kilometer Weg und Kilogramm Gewicht.

Also für 1 m pro Minute um 5 kal.

Datum 1902	Weg pro Minute m	Zu bewegendes Gewicht kg	Volumen der Atmung Liter	O-Verbrauch pro Minute ccm	CO_2 pro Minute ccm	O-Verbrauch pro m Weg ccm	O-Verbrauch pro m Weg u. kg Gew. ccm	R.-Q.	nach Abzug des Ruhewertes: O-Verbrauch ccm	nach Abzug des Ruhewertes: CO_2-Ausscheidung ccm	nach Abzug des Ruhewertes: R.-Q.	Kalor. Wert d. Arbeit pro m Weg und kg Gewicht kal.
27. Mai	182,6	63,47	42,74	3111,3	2816,4	15,20	0,2395	0,905	2774,9	2561,8	0,92	1,184
	172,0	63,47	38,80	2902,3	2545,4	14,92	0,235	0,88	2565,9	2290,8	0,89	1,154
Mittel . .	177,3	63,47	40,77	3000,6	2680,9	15,06	0,237	0,89	2670,4	2426,3	0,90	1,169

1) Über die Einwirkung der Muskeltätigkeit auf den Stoffwechsel des Menschen. Pflüger's Arch. Bd. 49. 1891.

2) l. c. S. 284 ff.

3) l. c.

4) l. c. S. 309—315.

5) N. Zuntz, Einfluss der Geschwindigkeit, der Körpertemperatur und der Übung auf den Stoffverbrauch bei Ruhe und Muskelarbeit. Pflüger's Arch. Bd. 95 S. 207. 1903.

Vergleichen wir dieses Resultat mit den Daten, welche Zuntz und Schumburg aus dem bisher vorhandenen Material zusammengestellt haben (l. c. S. 287). Zuntz und Schumburg hatten bei ihrer Versuchsperson B. die Geschwindigkeit zwischen Minutenwerten von 62,71 m und 89,06 m Weg, bei Versuchsperson P. zwischen 53,58 m und 93,33 m Weg variiert. Sie fanden bei B. für die Zunahme der Geschwindigkeit um 1 m eine Steigerung des Verbrauchs um 4,8 kal., bei P. um 2,3 kal. In gleicher Grössenordnung wie der Wert bei P. liegt die Steigerung des Verbrauches bei gleicher Geschwindigkeit für Leo Zuntz. Dieselbe betrug zwischen 60 und 100 m Minutenweg 2,4 kal. pro Meter Geschwindigkeitszuwachs. Wesentlich grösser dagegen war sie bei L. Zuntz zwischen 100 und 143 m Minutenweg. Hier stieg der entsprechende Mehrverbrauch auf 10 kal, er ist also doppelt so gross wie derjenige, welchen wir trotz der viel grösseren Geschwindigkeit bei dem Dauergänger M. ermittelt haben.

Die Steigerung, welche die Erhöhung der Marschgeschwindigkeit für die gleiche Arbeitsleistung erfordert, und welche also besagt, dass mit Ansteigen der Gehgeschwindigkeit die Marscharbeit unökonomischer geleistet wird, tritt auch deutlich hervor, wenn wir die beiden Versuche an Herrn M. mit erhöhten Marschgeschwindigkeiten untereinander vergleichen. Denn wie aus obenstehender Tabelle hervorgeht, finden wir für eine Marschgeschwindigkeit

von 172 m in der Minute einen Verbrauch von 1154 kal.
„ 183 „ „ „ „ „ „ „ 1184 „

Das bedeutet also für einen Zuwachs von 11 m Minutengeschwindigkeit einen Anstieg des Verbrauches um 30 kal., also pro Meter Weg um 2,7 kal. Dieser Mehrverbrauch ist beträchtlich geringer als der zwischen 139 m und 172 m. Dies ist erklärlich, weil der Versuch mit einer Geschwindigkeit von 183 m pro Minute dem anderen zeitlich vorherging. Dieser erste Versuch strengte die Versuchsperson ersichtlich an und bewirkte wohl eine schnell eintretende Ermüdung, durch welche der Verbrauch im zweiten Versuche gesteigert worden sein mag.

Der Wettmarsch selbst wurde am 18. Mai 1902 früh von Dresden aus begonnen. Er bedeutete einen eklatanten Sieg des Vegetariers M. Derselbe verrichtete eine kolossale und meines Wissens auf diesem Gebiete einzig dastehende Leistung, indem er den Weg Dresden—Berlin, eine Strecke von 202 km, in der Zeit von

26 Stunden 58 Minuten absolvierte. Über die Einwirkung dieser enormen Muskelleistung auf das körperliche Befinden und die geistigen Funktionen des jungen Mannes haben Albu und ich bereits berichtet. Ich beschränke mich daher hier auf einige kurze Bemerkungen. Ich erwartete Herrn M. zunächst auf der Zwischenstation Jüterbog, 134 km von Dresden. Dort langte er als erster an. Sein Gesicht war blass, die Lippen cyanotisch. Er war ausserordentlich erregt. Zu eingehender Untersuchung konnte die Zeit nicht erübrigt werden. Erst nach seiner Ankunft in Berlin konnte Herr M. sorgfältiger untersucht werden. Dabei ergab sich, dass die Gesichtsfarbe blass, die Lippen cyanotisch waren. Die Temperatur im Rectum 38,2°, der Puls klein, fast fadenförmig 110. Der Harn enthielt Eiweiss und Blut, granulierte und hyaline Zylinder, spärliche Nierenpithelien. Die Herztöne waren leise, aber rein. Eine zwei Stunden nach der Ankunft von Herrn Dr. Levy-Dorn vorgenommene Röntgenaufnahme zeigte normale Herzgrenzen.

Sensibilitätsprüfungen und Prüfungen des Zahlengedächtnisses ergaben eine halbe Stunde nach der Ankunft keine wesentlichen Veränderungen gegenüber den Befunden, welche wir in der Zeit des Trainings erhalten hatten. Überhaupt liessen die geistigen Funktionen nicht die geringste Einbusse erkennen. Nach der Rückkehr in seine Wohnung schlief M. etwa zwei Stunden und beschäftigte sich dann eifrig mit Korrespondenzen und geistiger Arbeit.

Der Gemischtkostler B. dagegen fiel vollkommen ab und gab den Kampf auf, noch bevor er die Hälfte des Weges zurückgelegt hatte.

Es ist vielleicht von Interesse, sich ein Bild zu machen von der Arbeitsleistung, welche der Vegetarier M. bei seinem Marsche vollführt hat. Natürlich lassen sich diese Werte nur in groben Umrissen feststellen, doch genügen die vorhandenen Tatsachen wohl sicherlich, um eine ungefähre Anschauung von der bei dem Marsche geleisteten Arbeit zu geben. M. legte in 26 Stunden 58 Minuten 202 km zurück. Das entspricht einer Minutengeschwindigkeit von 125 m. Diese Geschwindigkeit ist etwas geringer als diejenige, für welche in den Versuchen auf der Tretbahn die oben angegebenen Werte gewonnen wurden. Dort betrug die geringste Geschwindigkeit 135 m in der Minute. Man wird aber sicher nicht zu hoch gehen, wenn man für die Berechnung des Kraftverbrauches die mittleren, bei M. für eine Geschwindigkeit von 139 m pro Minute

ermittelten Werte zugrunde legt. Denn es wurden doch während des Marsches geringe Pausen für Nahrungsaufnahme usw. eingeschaltet. Vor allem aber wurde der erste Teil des Marsches sicher in viel schnellerem Tempo zurückgelegt, als es dem Durchschnitt entspricht, während sich im zweiten Teil zweifellos die Erhöhung des Kraftverbrauches durch Ermüdung geltendgemacht haben muss. Bei einer Geschwindigkeit von 139 m, welche wir demnach der weiteren Berechnung zugrunde legen wollen, betrug nach den Versuchen auf der Tretbahn der Sauerstoffverbrauch pro Kilometer 12,95 Liter. Demnach berechnet sich der Gesamtverbrauch für den Marsch (202 km) auf 2616 Liter Sauerstoff. In gleicher Weise erhalten wir eine Ausscheidung von 1990 Liter Kohlensäure.

Die Gesamtstickstoffausscheidung während des Marsches betrug im Harn und Schweiss 21,51 g N. Dem entsprechen 124 Liter O_2, 99 Liter CO_2 und 570 Kalorien. Es bleiben demnach 2492 Liter O_2 und 1893 Liter CO_2 für die Verbrennung von Kohlehydraten und Fetten. Der respiratorische Quotient beträgt 0,76. Bei Fett- und Kohlehydratverbrennung entspricht einem Sauerstoffverbrauch von 2492 Liter und R.-Q. 0,76 eine Wärmeproduktion von 11 842 Kalorien. Der kalorische Wert der Gesamtmarscharbeit betrug also 11 842 + 570 = 12 412 Kalorien oder, in mechanischem Maass ausgedrückt, 5 275 100 mkg. Da nach übereinstimmenden Resultaten der meisten diesbezüglichen Untersuchungen etwa ein Drittel[1]) der umgesetzten Energie für nutzbare Arbeit verwendet werden kann, so ergibt sich daraus, dass M. während des Marsches eine nutzbare Arbeit von 1758000 mkg geleistet hat. Da diese Arbeit in 26 Stunden und 58 Minuten vollführt wurde, so berechnet sich daraus eine 24 stündige Leistung von ca. 1 564 000 mkg.

So ausserordentlich gross diese Leistung auch ist, so ist es doch nicht die grösste 24 stündige Arbeit, welche bisher beobachtet worden ist. Wenn auch die Anhaltspunkte für die Berechnung der Arbeitsleistungen bei den einschlägigen Versuchen ziemlich mangelhaft sind, so genügen sie doch, um festzustellen, dass dieselben noch grösser sind

1) Atwater gibt wesentlich niedrigere Werte für die Ausnutzung der Energie für mechanische Arbeit, nämlich nur ca. 20 %. Es kann das wohl lediglich an einer ungünstigen Anordnung seines Ergometers liegen. Auch Katzenstein fand ja bei Dreharbeit eine ganz ähnliche schlechte Ausnutzung der Energie.

als die von M. vollführte Dauerleistung. Die eine dieser Maximalleistungen wird dargestellt durch den Rekord, welchen der bekannte Rennfahrer Miller auf dem Sechstagerennen in New York aufgestellt hat. Über diese Muskelleistung sind wir durch die Beobachtungen Atwater's[1]) gut unterrichtet. Am ersten dieser sechs Tage legte Miller 441,8 miles auf seinem Rade zurück. Dies entspricht einer Leistung von 710,9 km. Unter Zugrundelegung der Daten von Leo Zuntz, welche natürlich, da Respirationsversuche an Miller nicht vorliegen, nur einen annähernden Begriff der Leistung geben können, habe ich die 24stündige Arbeitsleistung Miller's auf 3288000 mkg berechnet. Allerdings wird man von diesem Werte wohl noch einige Abstreichungen machen müssen, welche in erster Linie durch den maximalen Training Miller's gegenüber Leo Zuntz bedingt sind, ferner auch durch die Erschwerung der Arbeitsleistung bei Leo Zuntz durch die auf der Lenkstange angebrachte Gasuhr und Verbindung des Mundes mit der letzteren. Auch die Qualität des Rades wird eine geringe Minderung der Arbeit bei Miller bedingt haben. Wenn man aber auch für diese Abzüge nach Magnus-Levy ganz maximale Werte einsetzt, so ergibt sich immer noch für den ersten Tag des Rennens für Miller ein Minimalwert von 2100000 mkg. Also nicht unbeträchtlich mehr als der 24Stundenwert der Arbeit des Herrn M. In annähernd gleicher Grössenordnung wie die Arbeitsleistung Miller's liegt der Wert, welchen Tissié[2]) bei einem Radrekord beobachtete. Dort legte der betreffende Radfahrer in 24 Stunden 620 km zurück, was einer Arbeitsleistung von etwa 3169000 mkg unter Zugrundelegung der Werte von Leo Zuntz entsprechen dürfte.

Wenn wir uns fragen, welche Gründe wohl für den glänzenden Sieg des Herrn M. über den Herrn B. geltendgemacht werden können, und ob dieselben auf Konto der vegetarischen Ernährung zu setzen sind, so müssen wir zunächst die sehr auffallende Tatsache beachten, dass nicht nur M. als erster Sieger anlangte, sondern bei diesem Marsche die fünf ersten Sieger als Vegetarier bezeichnet

---

1) The effect of severe and prolonged muscular work on food consumption, digestion, and metabolism von W. O. Atwater und H. C. Sherman. Washington 1901.

2) Observations physiologiques concernants un record velocipedique. Arch. de phys. norm. et path. t. 24. 1894.

werden. Es ist allerdings dabei zu bemerken, dass mehrere derselben in die Gruppe der Laktovegetarier zu rechnen sind, wovon ich mich bei meinen Beobachtungen des Dauermarsches selbst überzeugen konnte. Es liegt daher in der Tat die Frage nahe, ob etwa die vegetarische Diät den menschlichen Organismus für Dauerleistungen besonders befähige. Diese Anschauung ist wiederholt von vegetarischer Seite vertreten worden, hauptsächlich in Analogie mit den Leistungen der herbivoren Tiere, welche dem Menschen ja gerade durch ihre ausdauernde grosse Arbeitsfähigkeit nützlich werden, während die Karnivoren zu grösseren Augenblicksleistungen befähigt sein sollen. Auch Bälz schliesst sich dieser Anschauung an. Die Behauptung, dass fleischfressende Tiere weniger zu Dauerleistungen geeignet sind als die Herbivoren, ist wohl kaum zutreffend. Mit Recht macht Albu[1]) nach Hauchecorne darauf aufmerksam, wie ausserordentlich gross die Dauerleistung der Eskimohunde in den Polargegenden ist. Andrerseits aber können für die Anschauung, dass vegetarische Diät zu körperlichen Dauerleistungen besonders befähige, die ausserordentlichen Dauerleistungen angeführt werden, welche Bälz von seinen vegetarisch lebenden japanischen Wagenziehern beschreibt, und welche auch von anderer Seite in Berichten über die Leistungen japanischer und chinesischer Kulis Bestätigung gefunden haben. Doch spricht gegen die Anschauung, dass eine gemischte Kost erhebliche Dauerleistungen nicht ermögliche, der Umstand, dass bei den grössten derartigen Leistungen, über welche wenigstens unsere wissenschaftliche Literatur verfügt, die eben zitierten Rennen Miller's und der Versuchsperson Tissié's, die Ernährung keine vegetarische gewesen ist.

Gerade aber auch auf dem Gebiete des Gehsports sind die ausserordentlichen Leistungen des bekannten Fussgängers Weston zu nennen, welcher seinerzeit von Flint[2]) und später von Pavy[3]) eingehend beobachtet worden ist. Die Leistungen dieses Professionals stehen kaum hinter denjenigen der Versuchsperson M. zurück. So legte er in den Versuchen, welche Pavy mitgeteilt hat, in einem zweitägigen Marsche täglich 90 miles = ca. 149 km pro Tag, zurück, in einem weiteren dreitägigen Versuche 88 miles pro Tag =

1) l. c. S. 80.
2) New York Med. Journal 1870.
3) Lancet 1896.

etwa 142 km. Während dieser Versuchsreihe wurde ebenfalls eine nicht vegetarische Diät genommen.

Es kann danach die vegetarische Diät an sich nicht als ausschlaggebend für den Sieg der Vegetarier angesehen werden. Wir müssen uns also nach anderen Ursachen umsehen, welche den eklatanten Erfolg der Vegetarier zu erklären geeignet sind. Hier werden wir wiederum auf die Erwägung zurückgreifen müssen, welche wir bei der verhältnismässig erheblichen Kraftleistung des Hauptmanns H. am Schlusse des Versuchs im Einklange mit den Erfahrungen am Hungerer Succi erörtert haben: die Wirkung des Willens auf die Energieentfaltung. In der Tat ist es von vornherein begreiflich, dass in dieser Beziehung der Vegetarier den Gemischtkostlern gegenüber sich überlegen erweist. Die Innehaltung einer streng vegetarischen Diät ist heutzutage mit einer Fülle von Entbehrungen und Schwierigkeiten verbunden, welche durch Selbstüberwindung, Überwindung gesellschaftlicher Hindernisse und nicht zum mindesten zahlreicher Bekrittelungen gesetzt werden. Man muss daher von vornherein als sicher annehmen, dass ein jeder, welcher eine streng vegetarische Diät durchzuführen imstande ist, schon deshalb über eine erhöhte Willenskraft verfügt. Hierzu kommt, dass gerade die Schwierigkeiten, mit welchen die Anhänger dieser Kostform bei der Durchführung ihrer Prinzipien zu kämpfen haben, nicht nur den Willen stärken, sondern auch geradezu den Fanatismus erwecken. Zur Stütze dieser Behauptung braucht man nur einen Blick auf die vegetarische Literatur zu werfen, um zu sehen, in welch ausserordentlicher Weise der Fanatismus sich der Vorkämpfer dieser Richtung bemächtigt hat. Was aber die durch Fanatismus belebte Willenskraft an körperlichen und geistigen Leistungen verrichten kann, dafür liefert die Weltgeschichte mehr als ein Beispiel. Es ist ja auch ersichtlich, dass während es den Gemischtkostlern bei diesem Kampfe lediglich auf eine sportliche Leistung ankam, die Vegetarier gleichsam einen Kampf für ihre Lebensideale ausfochten und dadurch ihren Gegnern moralisch überlegen waren. Diese Gesichtspunkte scheinen mir zu erklären, warum fünf Vegetarier (wenn wir die Laktovegetarier hier mitrechnen wollen) zuerst das Ziel passierten.

Dagegen scheint mir diese Überlegung nicht geeignet zu sein, den Sieg des Herrn M. über den Herrn B. zu erklären. Ein Mann, welcher, wie letzterer, die grössten sportlichen Erfolge errungen hatte,

der Vertreter verschiedener Meisterschaften und Rekorde, ja eines Weltrekordes ist, ist ebenfalls naturgemäss bei einem derartigen Sportkampfe von grösster Willensenergie und besonderem Ehrgeize beseelt. Wir müssen uns also, um das völlige Versagen dieses Herrn zu erklären, nach anderen Gründen umsehen.

Da wird naturgemäss in erster Linie der Umstand in Betracht kommen, dass Herr M. als strenger Vegetarier auch stets abstinent gewesen ist, während Herr B. nachweislich während des Marsches selbst eine Flasche Wein mit Wasser verdünnt zu sich genommen hat. Die Entscheidung der Frage, ob die Wirkung des Rotweins, welchen B. unterwegs trank, an seinem Abfall mit schuld gewesen sei, ist nicht leicht. Sie führt uns auf das ziemlich schwierige Problem der Wirkung des Alkohols auf die Muskelarbeit. Im allgemeinen wird man geneigt sein, bei langdauernden starken körperlichen Leistungen Alkoholgenuss nach Möglichkeit zu vermeiden, da zahlreiche Erfahrungen dafür sprechen, dass die Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit, welche durch den Alkohol erreicht wird, nur eine vorübergehende ist und einer um so stärkeren Depression weicht. Daraus ergibt sich die Folgerung, dass bei körperlichen Arbeitsleistungen der Alkohol nur dann zu empfehlen ist, wenn bei starker Ermüdung nur noch eine geringe letzte Anstrengung von dem Ziele trennt, so dass die auf den Alkoholgenuss folgende Verminderung der Arbeitsfähigkeit, welche durch die Wirkung auf das Zentralnervensystem bedingt ist, nicht mehr ihren schädigenden Einfluss entfalten kann.

In guter Übereinstimmung mit diesen Erfahrungstatsachen stehen die Resultate der ergographischen Versuche von Frey[1]), welche derselbe meiner Ansicht nach siegreich gegen die Angriffe von Destrée, Forel und Kräpelin verfochten hat. Aus den Versuchen Frey's ging hervor, dass der Alkohol auf den nicht ermüdeten Muskel einen schädlichen Einfluss derart ausübt, dass er die maximalen Arbeitseinzelleistungen wesentlich herabsetzt. Dagegen wurde das Ermüdungsgefühl durch den Alkoholgenuss bekämpft, und die Arbeit des ermüdeten Muskels erschien infolgedessen leichter. Man wird nicht leugnen können, dass diesen Versuchen freilich die Unsicherheiten der ergographischen Methode anhaften, und es ist

1) Alkohol und Muskelermüdung. Verlag von Franz Deuticke, Leipzig und Wien 1902.

daher ein dringendes Erfordernis, die Einwirkung des Alkohols auf die Muskelarbeit durch Stoffwechselversuche zu prüfen. Hierüber liegen meines Wissens bisher nur die umfangreichen und exakten Versuche von Atwater und Benedict[1]) am Menschen vor. Diese Autoren drücken sich ausserordentlich vorsichtig in ihren Resultaten aus, indem sie die Schlussfolgerung ziehen, dass die Ausnutzung des Alkohols für Muskelarbeit sehr wahrscheinlich, aber durch ihre Versuche nicht exakt bewiesen sei. Dass dagegen ihre Versuche keinen Anhaltspunkt dafür gegeben hätten, dass die Energie des Alkohols nicht für die Arbeit ausgenutzt werden könne. Demgegenüber ist auf die bekannten Versuche von Chauveau[2]) am Hunde ein Wert nicht zu legen. Dass diese Versuche die Unzulänglichkeit des Alkohols für die Muskelarbeit nicht beweisen, ist von mir, ganz besonders aber von Rosemann in einer ganzen Anzahl von Publikationen gegenüber dem Widerspruche von Kassowitz auseinandergesetzt worden. Wenn man aber auch nach unseren heutigen Kenntnissen anzunehmen geneigt ist, dass der Alkohol seine chemischen Spannkräfte in den Dienst der Muskeltätigkeit zu stellen imstande ist, so wird man die Gefahren, welche der Alkoholgenuss bei starken körperlichen Leistungen bietet, dennoch nicht gering schätzen dürfen. Dass dieselben sehr gross sind in all denjenigen Fällen, in denen nicht die vorsichtige Grenze innegehalten wurde, geht ja gerade aus den erwähnten Versuchen von Chauveau nach Rosemann's und meiner Ansicht auf das evidenteste hervor. Man würde daher wohl jeden, der eine erhebliche körperliche Anstrengung zu leisten hat, nach Möglichkeit von dem Genuss des Alkohols zurückhalten.

Dennoch aber scheint mir, dass die geringe Menge Alkohol, welche unsere Versuchsperson während des Marsches zu sich nahm, für das schlechte Resultat nicht verantwortlich gemacht werden kann. Dagegen spricht der Umstand, dass B. auch während des Trainings Wein zu sich nahm, und zwar, wie die Tabelle auf S. 576 ergibt, durchaus nicht ganz unerhebliche Mengen. Dabei aber arbeitete er bei den Tretbahnversuchen durchaus ökonomisch, und seine Leistung stand sicherlich gegenüber derjenigen seines Rivalen nicht erheblich zurück.

1) An experimental inquiry regarding the nutritive value of alcohol. Washington 1902.

2) Compt. rend. t. 132 p. 65. Ebenda 1901 p. 110.

Auch unsere Erfahrungen bei den anderen Dauerleistungen sprechen entschieden dagegen, anzunehmen, dass geringe Mengen Alkohol bei derartigen Gelegenheiten eine allzu schädigende Wirkung ausüben. So sagt Atwater allerdings von Miller „he never uses alcohol or tobacco in any form, and his system of training involved no special deprivations“. Bei der Angabe der täglich genommenen Nahrungsmittel finden wir aber, dass Miller am ersten Tage, an welchem er die obenerwähnte grösste Arbeitsleistung von 441,8 miles leistete, über 7 Liter Kumys trank. Bekanntlich ist Kumys ein alkoholhaltiges Milchgetränk. Die Analyse ergab allerdings einen verhältnismässig sehr niedrigen Wert von 0,52 % Alkokol, immerhin eine doch nicht ganz zu vernachlässigende Menge. Weit grösser dagegen scheinen die Mengen Alkohols zu sein, welche die Versuchsperson Tissié's bei ihrem Rekord aufgenommen hat. Leider wird die Menge des genossenen Rums und Champagners nicht angegeben. Aber schon die Wahl der Getränke weist darauf hin, dass die Alkolaufnahme keine ganz geringe gewesen sein kann. In der Tat erwähnt auch Tissié, dass der Aufnahme des Rums eine vorübergehend erhöhte Kraftentfaltung folgte, auf welche aber schnell die Reaktion eintrat.

Alle diese Überlegungen haben nicht den Zweck, die Frage nach der Wirksamkeit des Alkohols bei der Muskelarbeit zu entscheiden. Dieselbe kann nur durch weiteres Beibringen experimentellen Materials gelöst werden, wobei besonders die bisher noch gar nicht eingehend untersuchte Frage zu berücksichtigen sein würde, wie denn der Alkohol bei der Muskelleistung alkohol gewohnter Individuen wirkt. Denn bisher sind fast stets dauernde oder vorübergehende Abstinenzler zu diesen Versuchen benutzt worden, eine Versuchsanordnung, die sicherlich ihre volle Berechtigung hatte von dem Gesichtspunkt aus, die Alkoholwirkung zunächst einmal möglichst rein festzustellen.

Die Überlegungen, welche wir hier angestellt haben, sollen lediglich dazu dienen, die Frage zu entscheiden, ob die Niederlage des Herrn B. auf den Alkoholgenuss zurückzuführen ist. Ich glaube, dass man nach dem Gesagten diese Annahme als höchst unwahrscheinlich wird bezeichnen müssen. Denn selbst, wenn die schädliche Reaktion des Alkohols eingetreten ist, so kann dieselbe bei den ziemlich geringen Mengen, welche Herr B. nahm, keine dauernde gewesen sein und hätte ihn daher, da er in Gemeinschaft

mit dem Vegetarier M. seinen übrigen Konkurrenten weit voraus war, sicherlich nicht abhalten können, wenn auch nicht den Sieg davonzutragen, so doch einen Platz bei dem Dauermarsch zu belegen. Ich glaube, dass wir der Wahrheit am nächsten kommen werden, wenn wir als Grund für die Niederlage B.'s gegenüber dem Vegetarier M. gelten lassen, dass letzterer in der Tat dem ersteren an Muskelkraft und Leistungsfähigkeit überlegen gewesen ist, was ja auch durch den höheren Sauerstoffverbrauch des Herrn M. bei absoluter Körperruhe gestützt wird. Dass aber Herr B. dann völlig abfiel und nach kurzer Zeit den Wettbewerb aufgab, ist wohl leicht daraus zu erklären, dass seine Willenskraft gebrochen wurde, als er sehen musste, dass ihm der Preis des ersten Siegers zweifellos versagt war. Die eintretende Entmutigung liess ihn dann mehr und mehr zurückbleiben und führte ihn schliesslich dazu, einen Kampf aufzugeben, dessen Ausgang für ihn als einen Sportsman allererster Klasse auf jeden Fall ein beschämender sein musste.

Vielleicht ist es nicht ohne Interesse, auch die W ä r m e - r e g u l a t i o n auf dem Marsche einer kurzen Betrachtung zu unterziehen, soweit unsere Daten einen Einblick in dieselbe gewähren. Zu diesem Zwecke habe ich folgende Berechnung angestellt:

Es wurde zunächst bei jedem Marsche während der Versuchszeit der insensible Gewichtsverlust festgestellt. Dieser wurde gefunden durch Abzug des um das Gewicht der Ausscheidungen vermehrten Endgewichts der Versuchsperson nach dem Marsche von dem um das Gewicht der aufgenommenen Speisen vermehrten Anfangsgewichte vor dem Marsche. An diesem Perspirationswerte ist eine stets nur sehr geringe Korrektur anzubringen für den Gewichtsunterschied des aufgenommenen Sauerstoffes und der ausgeschiedenen Kohlensäure. Die so gewonnene Zahl wird als Wasserverlust in Rechnung gestellt. Durch Multiplikation mit der Verdunstungswärme des Wassers erhalte ich das kalorische Äquivalent dieses Wasserverlustes. In derselben Weise wie oben wird aus den Daten der Respirationsversuche das kalorische Äquivalent der Marscharbeit berechnet. Von diesem Werte werden die durch Wasserverdunstung abgegebenen Kalorien abgezogen und so der Wert der durch Strahlung und Leitung abgegebenen Wärmemenge ermittelt.

Auf diese Weise kommen wir zu folgenden Daten:

Der insensible Gewichtsverlust des Herrn M. am 25. April 1902 betrug von 7^{h}—11^{h} 15′ a. 2,06 kg. Während der Zeit legte er

24,75 km auf der Chaussee und 2,911 km auf der Tretbahn (Versuch Ia und Ib) zurück, in Summa 27,661 km. Um den kalorischen Wert dieser Marscharbeit festzustellen, wurden die bezüglichen Angaben des Versuchs Ia und Ib gemittelt. Dann erhalte ich als kalorischer Äquivalent der Marscharbeit unter Benutzung der S. 575 angeführten Rechenmethode 1718 Kalorien. Während des ganzen Marsches wurden aufgenommen 27,661 × 12,97 = 359 Liter O_2 und ausgeschieden 27,661 × 10,36 = 287 Liter CO_2. 359 Liter O_2 wiegen 513 g. 287 Liter CO_2 = 562 g. Es wurden also mit der Kohlensäure 49 g mehr ausgeschieden, als mit dem Sauerstoff aufgenommen war. Diese 49 g sind von dem insensiblen Verlust abzuziehen, um den Wasserverlust zu erhalten. Dieser beträgt demnach 2,011 kg. 1 kg Wasser verbraucht bei der Verdampfung 580,8 Kalorien, also 2,011 kg : 2,011 × 580,8 = 1168 Kalorien.

Es wurden also für den Gesamtmarsch verbraucht .	1718 Kal.
Kalorischer Wert der Wasserverdunstung	1168 „
Also durch Strahlung und Leitung abgegeben . . .	550 Kal.

über die Wärmemenge hinaus, die der ruhende Organismus produziert.

Es wurden also 68 % der durch die Arbeit produzierten Wärme auf dem Wege der Wasserverdunstung abgegeben.

Der Anteil der Wärme, welcher durch Verdunstung entfernt wird, ist natürlich ceteris paribus abhängig von den äusseren Umständen, in erster Linie der umgebenden Temperatur und der Luftbewegung. Auch die Feuchtigkeit der Luft spielt eine wesentliche, wenn auch nicht eindeutige Rolle. Am 25. April 1902 war die Temperatur im Mittel + 13° C. Die Luft war sehr trocken, ca. 40 % relative Feuchtigkeit. Der Tag war äusserst windstill, die Windstärke betrug 1 der diesbezüglichen meteorologischen Skala, d. h. es herrschte nur ein leiser Luftzug.

Ähnlich liegen die Verhältnisse beim zweiten Marsche des Herrn M., am 25. April. Bemerken möchte ich kurz, dass ich nur die respiratorischen Werte vom Versuch IIIa benutzt habe, nicht einen Durchschnitt von IIb und IIIa. Grund dafür ist, dass zwischen Versuch IIb und dem Abmarsche die Hauptnahrungsaufnahme lag, so dass mir die Werte des Versuches IIIa diejenigen zu sein schienen, welche denen während des Marsches am nächsten stehen.

Ich erhielt so:

Gesamtwärmeproduktion	1654 Kal.	
Durch Verdunstung abgegeben.	989 „	= 60 %
Durch Strahlung und Leitung abgegeben . .	665 Kal.	

Die mittlere Temperatur während des Marsches betrug 16°. Die relative Feuchtigkeit war ganz ausserordentlich niedrig. Sie betrug nur 30%. Der 25. April war der trockenste Tag des ganzen Monats. Windstärke 1.

In gleicher Weise habe ich diese Verhältnisse für Herrn B. berechnet. Ich habe dabei gefunden am 22. April 1902 für Marsch I:

Gesamtwärmeproduktion für den Marsch . . 1948 Kal.
Durch Verdunstung abgegeben . . . . . 983 „ = 50%
Durch Leitung und Strahlung abgegeben . . 965 Kal.

Mittlere Temperatur 9°. Relative Feuchtigkeit 50%. Windstärke 1.

Für Marsch II:

Gesamtwärmeproduktion . . . . 1712 Kal.
Durch Wasserverdunstung abgegeben . . . 1047 „ = 61%
Durch Strahlung und Leitung abgegeben . . 665 Kal.

Mittlere Temperatur 13°. Relative Feuchtigkeit 50%. Windstärke 2 (mässiger Wind).

Am 26. April, Marsch I:

Gesamtwärmeproduktion . . . . 1749 Kal.
Abgegeben durch Verdunstung . . . . . 1506 „ = 86%[1])
Durch Strahlung und Leitung abgegeben . 243 Kal.

Mittlere Temperatur 8,5°. Windstärke 2 (schwacher Wind). Die relative Feuchtigkeit der Luft schwankte während dieser Stunden in ganz aussergewöhnlicher Weise. Sie betrug im Mittel 50%. Doch kamen Werte vor von 36% und entsprechende über 50%.

Marsch II:

Gesamtwärmeproduktion . . . . 1727 Kal.
Abgegeben durch Verdunstung . . . . . 1050 „ = 61%
Durch Strahlung und Leitung abgegeben . . 677 Kal.

Sehen wir von dem zweifelhaften Werte für B. am 26. April Marsch I ab, so lag der kalorische Wert der Schweisssekretion für Herrn M. und B. annähernd in der gleichen Grössenordnung, nämlich zwischen

1) Der Wert ist ein so ungewöhnlich hoher bei den herrschenden meteorologischen Verhältnissen, dass er verdächtig erscheint. Der Gewichtsverlust von B. während dieses Marsches war auffallend. (Siehe Tabelle S. 573.) Dabei brauchte B. pro Kilometer Marsch etwa die doppelte Zeit wie sonst. (Siehe Tabelle S. 576.)

50 und 68 % des bei der Marscharbeit produzierten Gesamtwärmeüberschusses. Doch waren die durch die Witterungsverhältnisse gegebenen Bedingungen bei den Märschen des M. einer Schweisssekretion günstiger als bei denen des Dauergängers B. Wenn trotzdem Herr M. nicht mehr schwitzte als B., so lag dies wohl an seiner zweckmässigeren Kleidung, welche derart gewählt war, dass die Luft gut durch die Kleider hindurchstreichen konnte, so dass das Schweisswasser auf der Haut selbst verdunstete. Zuntz[1]) weist darauf hin, dass die Wassersekretion durch die Haut, wie wir sie auch oben als Wasserverlust in Rechnung gestellt haben, nicht mit der wirklichen Wasserverdunstung identisch ist; denn je nach der Kleidung bleibt ein Teil des abgesonderten Schweisses in tropfbar flüssiger Form in den Kleidern zurück und kommt so für die Entwärmung des Körpers nicht in Betracht. Ein anderer Teil verdunstet in den äusseren Schichten und kommt infolgedessen der Entwärmung des Körpers nur wenig zugute. M. war während des Trainingmarsches mit porösen Unterkleidern bekleidet, B. dagegen führte die Trainingmärsche im gewöhnlichen Leinenhemd ohne Kragen in Jacke und Hose aus.

Auch während des Dauermarsches selbst war die Bekleidung M's. sehr zweckmässig Er trug eine dünne weite Leinenhose, welche bis zum Knie reichte und kurze Strümpfe, die die Waden frei liessen. Der Oberkörper war nur mit einem Netzhemd bedeckt. So war durch die Kleidung in gleicher Weise dafür gesorgt, dass die Abgabe durch Leitung und Strahlung möglichst vollkommen war, als auch, dass die Verdunstung des abgesonderten Schweisses möglichst ergiebig und unmittelbar auf der Haut erfolgte.

So kommt es, dass die Schweissbildung bei M. während des Dauermarsches Dresden—Berlin eine auffallend niedrige war, wobei allerdings die niedrige Temperatur — ca. 8° im Mittel — und vor allem der Regen, welcher wiederholt eintrat, eine sehr wesentliche Rolle gespielt haben müssen.

Wie durch genaue Wägungen am Start in Dresden und am Ziel in Berlin festgestellt worden ist, betrug der gesamte Gewichtsverlust von Herrn M. während des Marsches 3,385 kg. Der insensible Verlust stellt sich jedoch wesentlich höher, weil das Gewicht

1) Über die Wärmeregulation bei Muskelarbeit. Vortrag, gehalten in der Balneologischen Gesellschaft. Deutsche Medizinal-Zeitung 1903 S. 3.

der aufgenommenen Getränke und Speisen das des ausgeschiedenen Harnes und Kotes erheblich übertraf[1]). Wir fanden so einen insensiblen Verlust von 5,618 kg.

Für den ganzen Marsch berechnet sich die Sauerstoffaufnahme auf ca. 2616 Liter, die Kohlensäureausscheidung auf ca. 1990 Liter. 2616 Liter O_2 wiegen 3,741 kg. 1990 Liter CO_2 wiegen 3,792 kg. Auf den respiratorischen Stoffwechsel ist demnach ein Gewichtsverlust von nur 51 g zu beziehen, was man bei einer doch nur angenäherten Berechnung wie die vorliegende vernachlässigen muss. Der Wasserverlust entspricht einer Wärmeabgabe von 3263 Kalorien. Der kalorische Wert der Gesamtarbeitsleistungbetrug wie oben berechnet, 12412 Kalorien. Durch Verdunstung wurde abgegeben 3263 Kalorien = 26 %; durch Strahlung und Leitung demnach 9149 Kalorien über den Ruhebedarf. Hierzu ist zu bemerken, dass die Wärmeabgabe durch Wasserverdunstung auf zwei verschiedenen Wegen erfolgt, nämlich einerseits durch die Wasserabgabe mit der Atemluft, andrerseits durch Schweissbildung. Nach einer Berechnung, welche ich auf Grund der Daten, welche Zuntz und Schumburg[2]) hierfür angeben, angestellt habe, ergibt sich, dass selbst von der geringen Wärmeabgabe durch Wasserverdunstung noch ca. 28 % von den Atemwegen abgegeben wurden.

Schlussbetrachtung.

Betrachten wir noch einmal die Resultate, welche sich aus dieser Arbeit für die Bedeutung der vegetarischen Ernährung in physiologischer Hinsicht ergeben, so muss zunächst hervorgehoben werden, dass, nach den Erfahrungen und den Angaben der Versuchspersonen selbst, der strenge Vegetarismus meist nur vorübergehend als Nahrungsregime angewandt worden ist. So nährte sich selbst der Hauptmann H. nicht durchgehends streng vegetarisch, sondern nahm „dazwischendurch auch gekochte, gebratene und gebackene vegetarische Speisen sowie Milch und Butterbrot“. Auch ist er nach dem Versuche zu gekochter vegetarischer Speisehauskost zurückgekehrt. Ähnlich teilte mir der vegetarische Dauergänger M.

1) Herr M. war auf dem Marsch von Radfahrern begleitet, welche für seine leiblichen Bedürfnisse sorgten, ihm die abgewogenen Speisen reichten und die Getränke abmassen sowie den Harn teils in Jüterbog, wo ich die Dauergänger erwartete, teils in Berlin am Start ablieferten.

2) Zuntz und Schumburg, l. c. S. 203.

mit, dass, am Siegestage zu Hause angelangt, sein erstes gewesen sei, „einen mächtigen Topf saure Milch zu geniessen“.

Doch haben uns unsere Versuche und Betrachtungen wohl mit Sicherheit gelehrt, dass eine rein pflanzliche Kost, selbst rein pflanzliche Rohkost einen kräftigen, jugendlichen Organismus auf höchster Stufe körperlicher und auch geistiger Frische und Leistungsfähigkeit zu erhalten vermag (Herr M.). Dennoch erscheint diese Diätform unzweckmässig:

1. wegen der schlechten Ausnutzung der Kost, besonders aber der Eiweissstoffe. Diese tritt in allen mir bekannten diesbezüglichen Versuchen zutage derart, dass selbst im günstigsten Falle (Taniguti) der Stickstoffverlust im Kot ein ebenso grosser war als selbst bei der exzeptionell schlechtesten Ausnutzung gemischter Kost (Löwy, Zuntz);

2. wegen der Reizlosigkeit der Kost;

3. wegen ihres grossen Volumens (Mori).

Doch lassen sich die Übelstände 1 und 3 durch Verwendung Kellogg'scher Präparate, 2 durch Anwendung von Würzstoffen, wie sie die Japaner erfunden haben, einigermassen bekämpfen.

Die Eiweissarmut der Pflanzenkost wird nur bei besonders unzweckmässiger Verwendung derselben (Hauptmann H.) als wesentlicher Einwand in Betracht kommen.

Von den Vorteilen vegetarischer Ernährung ist die Billigkeit derselben hervorzuheben.

Dagegen ist die Anschauung, dass die vegetarische Ernährung infolge ihres Mangels an Harnsäurebildnern der gewöhnlichen gemischten vorzuziehen sei, nicht erwiesen. Berechtigt ist der Hinweis auf die geringe Zufuhr von Purinkörpern dagegen gegenüber einer übermässigen Fleischkost und in Fällen, welche in das Gebiet der Pathologie gehören.

Bezüglich der Leistungsfähigkeit bietet die vegetarische Kost sicherlich im allgemeinen keinen Vorteil gegenüber der gemischten.

Ich glaube demnach, dass die Ernährungsphysiologie jetzt imstande ist, auf alle Fragen, welche diese Seite des Vegetarismus betreffen, eine klare, eindeutige Antwort zu geben. Nur die Harnsäurefrage bedarf noch der weiteren Klärung und sicheren Entscheidung.



Herr Hauptmann H. am Schlusse des Versuches.

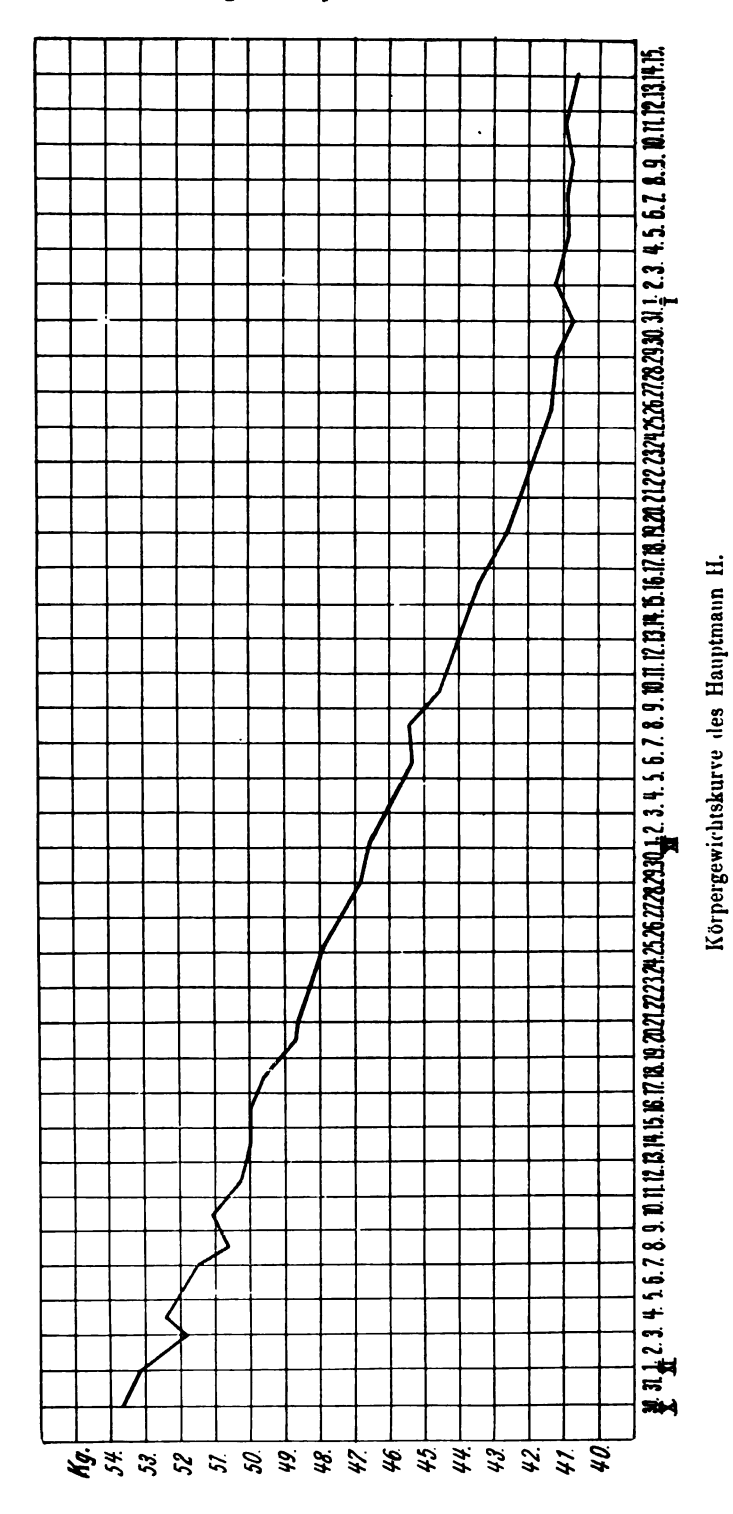
Lichtdruck von Römmler & Jonas. Dresden.



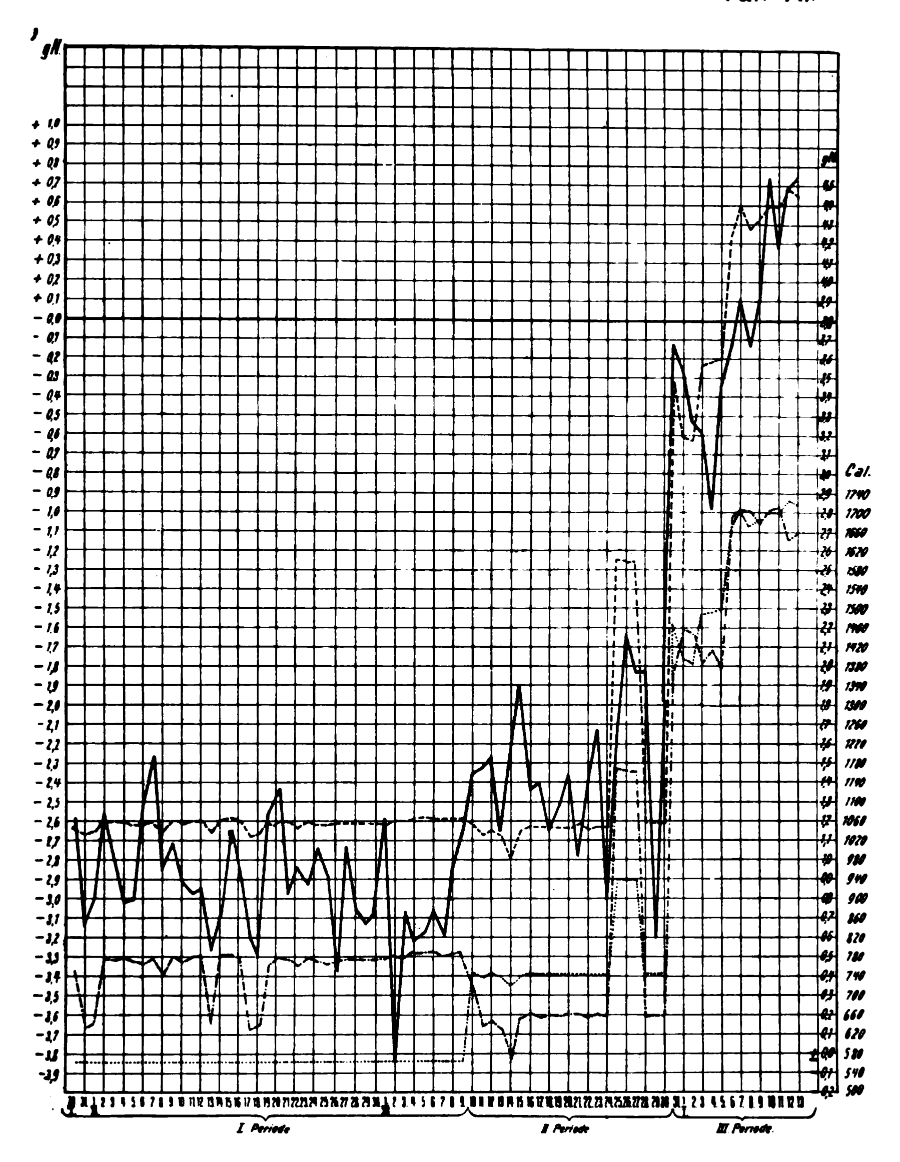
Herr Ingenieur K.



Herr M.



Körpergewichtskurve des Hauptmann H.



Kurve des Stoffwechsel-Versuches am Hauptmann H.

----------- = Stickstoffzufuhr.
—·——— = Resorbierter Stickstoff.
——— = Stickstoffbilanz.
—·— —·— = Kalorienzufuhr.

Bei der Ausführung dieser Untersuchungen bin ich von zahlreichen Herren in liebenswürdigster Weise unterstützt worden. In erster Linie gebührt mein herzlicher Dank meinem verehrten Chef Herrn Geheimrat Professor Zuntz. Ausser ihm unterstützten mich besonders bei den Respirationsversuchen auf der Tretbahn die Herren Professoren Loewy und Durig sowie Herr Dr. Carl Oppenheimer. Ferner bin ich Herrn Dr. Cronheim zu Dank verpflichtet. Dieser nahm in Dresden am Start die Wägungen der Dauergänger und ihres Proviantes vor. Den Herren Geheimräten Professoren Dr. Ewald und Goldscheider danke ich für die Möglichkeit der geeigneten Unterbringung des Ehepaares K. und des Hauptmanns H., Herrn Geheimrat Goldscheider und Herrn Dr. Alexander für die entgegenkommende Fürsorge für den Letzteren. Auch den Herren Professoren von den Steinen und Grünwedel vom hiesigen Museum für Völkerkunde sei an dieser Stelle mein ergebenster Dank für ihre freundlichen Mitteilungen ausgesprochen.

Nicht zum mindesten aber möchte ich auch denjenigen Herren hier meinen herzlichen Dank aussprechen, welche sich mit so grosser Opferwilligkeit als Objekte dieser Untersuchungen dargeboten haben.

Ueber tetanische Contraction des Herzens des Warmblüters bei elektrischer Reizung.

Von

Prof. **B. Danilewsky** (Charkow).

(Hierzu Tafel XII—XIII.)

Unter den Eigenthümlichkeiten des Herzmuskels — im Vergleiche mit den willkürlichen Muskeln — wird gewöhnlich die Unfähigkeit desselben, in einen wahren tetanischen Zustand zu gerathen, sogar bei der Wirkung einer starken elektrischen Reizung angeführt. Während der willkürliche Muskel ziemlich leicht eine Superposition der Zuckungen zeigt, die allmählich in einen echten ununterbrochenen Tetanus übergeht, zeigt der Herzmuskel nach jeder Systole constant eine diastolische Erschlaffung, wiewohl auch bei gewissen Verhältnissen von geringerer Amplitude; es ist dabei am Cardiogramm eine Superposition der systolischen Contractionen sogar mit gemeinsamer Erhöhung der Systolen zu bemerken. Offenbar vermag das Herz, welches eine rhythmisch wirkende Quelle für die systolischen Erregungen sowie auch — nach einigen Autoren — für die activen diastolischen Erweiterungen enthält, sich nicht so passiv resp. so gehorsam dem äusseren Reize gegenüber zu verhalten wie der gewöhnliche Muskel, der einer Automatie entbehrt; sowie auch in vielen anderen Fällen erweisen sich die physiologischen inneren Antriebe viel activer als die künstlichen äusseren. Im Momente des Aufhörens der natürlichen systolischen Erregung ist die elektrische Reizung nicht im Stande, diese gänzlich zu ersetzen, und deshalb offenbart sich der diastolische Antrieb in einer, wenn auch geringeren Erweiterung. Die refractäre Phase kann offenbar weder durch einen ununterbrochenen äusseren Reiz (z. B. durch einen constanten Strom) noch durch einen häufig intermittirenden aufgehoben werden. Wegen dieser Eigenschaft, der zeitweisen Unerregbarkeit, (Marey) vermag der äussere Reiz das Auftreten der — wenn auch unvollkommenen — Diastole nicht zu verhindern.

Man findet jedoch seit längerer Zeit in der Literatur experimentelle Angaben über die Möglichkeit, einen Tetanus des Froschherzens zu erzielen; ja sogar das Warmblüterherz sei einer tetanischen oder wenigstens einer längere Zeit andauernden tonischen Contraction fähig. Solche Erscheinungen am Froschherz sind von Heidenhain (1858), Goltz (1861), Luciani (1873), in noch mehr ausgesprochener Weise von Cyon (1866) beobachtet worden; später sind solche Angaben von Ranvier (1880), Marey (1881), Gley (1890) u. A. gemacht worden. Eine Art von tonischer Contraction beobachtete auch Kronecker bei Reizung der Herzspitze mit starken Inductionsströmen (1874). Durch gleichzeitige Reizung des Sinus venosus des Froschherzens und des Nervus vagus (oder — nach Rouget — des N. vagus und des Ventrikels) kann nicht nur eine Superposition der systolischen Contractionen, sondern auch eine echte tetanische Curve erhalten werden (O. Franck). Noch erfolgreicher in dieser Hinsicht waren die Versuche von A. Walther, der durch directe intermittirende elektrische Reizung des mit Muscarin vergifteten Froschherzens das gleiche Resultat erzielte [1]). Wie nach einigen Versuchen von F. B. Hofmann und O. Franck zu beurtheilen ist, wird das Auftreten des Tetanus durch die Schwäche des Froschherzens, die durch Nervenreizung seines Septums oder durch Ermüdung hervorgebracht wird, begünstigt. In dem gleichen Sinne wie Muscarin, d. h. eine Superposition der Zuckungen begünstigend, wirken auch manche andere Substanzen, z. B. die Kalksalze (Ringer), Alkohol (Roy), sogar ohne jede äussere Reizung.

Cyon [2]) führt graphische Angaben aus seiner älteren Arbeit über das Herz (1865—1866) an, welche zeigen, dass das Froschherz unter dem Einflusse höherer Temperaturen bei elektrischer Reizung seiner Substanz oder des N. vagus oder sogar spontan echte tetanische Contractionen liefert. Die Grundbedingung besteht darin, dass die hohe Temperatur die Function der Hemmungsganglien des Herzens aufhebt; dann aber erzeugt die tetanisirende Reizung des N. vagus „un véritable tétanos du cœur“. Ueberhaupt, wie Cyon meint: „c'est à l'existence dans les parois du cœur des centres nerveux antagonistes, et nullement à une propriété particulière de la fibre musculaire du cœur qu'il faut attribuer l'incapacité du cœur d'entrer à l'état normal en tétanos“.

---

1) A. Walther, Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 78 S. 597. 1900.

2) E. Cyon, Journ. de physiol. et de pathol. géner. t. 2 Nr. 3 p. 395. 1900.

Aristow[1]) beobachtete gleichfalls tetanische Contractionen des Herzens bei directer Reizung des im Zustande des Wärmestillstandes befindlichen Froschherzens. Es ist jedoch neulich von F. Klug[2]) hervorgehoben worden, dass bei hoher Temperatur (40 ° C.) eine Superposition der Herzsystolen in Form eines Tetanus auch spontan ohne jede elektrische Reizung stattfinden kann. Ich hatte selbst die Gelegenheit, einen sehr kräftigen und lange andauernden[3]) Tetanus des Froschherzens zu beobachten, und zwar des Ventrikels bei directer Reizung desselben durch die Entladungen einer Ruhmkorff'schen Spirale.

Was das Herz der Warmblüter betrifft, so fielen in dieser Beziehung, soviel mir bekannt ist, bisher die Resultate gewöhnlich negativ aus, trotz der Anwendung eines sogar sehr starken elektrischen Stromes in verschiedener Form.

In der Literatur fand ich bloss zwei Angaben (Arloing, Langendorff) über die Möglichkeit des Herztetanus bei Warmblütern; in beiden Fällen aber handelte es sich um tonische Contractionen, nicht aber um einen echten Tetanus; dazu bezogen sich die beschriebenen Beobachtungen auf extraordinäre Erscheinungen. Arloing[4]) führt das Cardiogramm (des rechten Ventrikels) eines Pferdes an, das eine sehr lange dauernde tonische Contraction des Ventrikels zeigt, welche durch eine mechanische Reizung durch Ligatur des linken N. vagus hervorgebracht wurde. Es ist von Interesse, dass die Höhe dieser Contraction deutlich niedriger ist als die vorherige normale Systole. „Au début on distingue encore les systoles qui tendent à se fusionner; un peu plus loin, la fusion devient complète.“ „Il faut ajouter que nous n'avons rien obtenu de semblable dans la suite de l'experience, quand on a lié et sectionné le nerf droit, quand on a excité les bouts périphériques.“ Die Section zeigte, dass das Herz krank war („lésion de myocardite“).

Die zweite Beobachtung gehört Langendorff[5]). Indem er die Veränderungen in der Thätigkeit des herausgeschnittenen Herzens einer Katze unter dem Einflusse niedriger Temperaturen des durch Kranzgefässe fliessenden Blutes (8,8 und 11 ° C.) beschreibt, be-

1) Aristow, Arch. f. Physiol. von du Bois-Reymond 1879 S. 198.
2) F. Klug, Pflüger's Arch. Bd. 99 S. 616. 1903.
3) Zuweilen während einiger Minuten!
4) Arloing, Archives de physiologie normale et pathol. 1893 p. 111.
5) O. Langendorff, Pflüger's Arch. Bd. 61 S. 291. 1895.

richtet er Folgendes: „Die Einzelcontraction verläuft hier äusserst langsam; die Dauer einer solchen kann fünf Secunden und mehr betragen." „Zugleich tritt nicht selten eine Neigung zu tetanoïden Contractionen auf, die ich auch beim stark abgekühlten Froschherzen gesehen habe" (l. c. S. 316)[1]). Die vom Autor beigelegte graphische Zeichnung (Fig. 15) deutet offenbar auf eine Verschmelzung von etwa vier Systolen zu einer wellenförmigen Linie hin; die mittlere Höhe derselben übersteigt die Höhe der ersten Systole in dieser Gruppe und der vorangegangenen Systolen nicht.

Die Fähigkeit, unter dem Einflusse einer elektrischen Reizung, eine tetanische Contraction zu liefern, ist für das Herz mancher Avertebrata, und zwar der Crustaceen, schon seit lange her constatirt worden (Alexander Brandt, Eckhard, J. Dogiel); neulich ist dieser Umstand unter Anwendung der graphischen Methode für das Herz von Homarus americanus in den Versuchen von Reid Hunt, Bookman und Tierney[2]) bestätigt worden. Die von diesen Autoren angeführten Curven thun in klarer Weise dar, dass das Herz deutlich befähigt ist, eine Superposition, eine Summirung, ja einen echten Tetanus zu zeigen; von grosser Wichtigkeit ist die Angabe dieser Autoren, dass das Herz während aller Stadien der Contraction erregbar ist (ausgenommen bei niedrigen Temperaturen) und in hohem Maasse die Fähigkeit der Automatie besitzt. Nach seinen physiologischen Eigenschaften nimmt also der Herzmuskel des Hummers thatsächlich eine Mittelstellung zwischen dem gewöhnlichen Skeletmuskel und dem Herzmuskel der Wirbelthiere ein.

Es ist noch endlich zu erwähnen, dass das Herz des Hühnerembryos bei directer elektrischer Reizung verhältnissmässig leicht in einen tetanischen Zustand geräth (Wernicke, Fano und Bottazzi).

In meinen Versuchen, die im Sinne einer leichten Aufnahme einer tetanischen Curve ein positives Resultat lieferten, verfuhr ich folgendermaassen:

Das ausgeschnittene Herz des Kaninchens wurde im lebenden Zustande nach Langendorff erhalten; zu diesem Zwecke wurde

---

1) Es ist dabei zu erwähnen, dass ähnliche tonische Contractionen am Warmblüterherzen unter der Wirkung mancher Gifte, Digitalis z. B., beobachtet werden. (Siehe L. Braun und W. Mager, Wiener akad. Sitzungsber. 1899 Abth. 3 S. 471.

2) Centralbl. f. Physiol. Bd. 11 S. 274. 1897.

durch seine Coronargefässe von der Aorta aus eine erwärmte und mit Sauerstoff gesättigte Ringer'sche oder Locke'sche Flüssigkeit (mit Zucker) geleitet. Die Spitze des vertical aufgehängten Herzens tauchte um einige Millimeter oder mehr in Wasser, wo an beiden Seiten der Herzspitze, in einer Entfernung von 3—6 mm von derselben, Elektroden angebracht waren[1]). Um eine Vorstellung von der Stärke dieser Reizung zu haben, genügt zu sagen, dass, wenn man anstatt des Herzens den Finger in's Wasser taucht, so fühlt dieser so gut wie gar nichts, sogar bei bedeutender Annäherung der Rollen eines grossen Schlitteninductoriums an einander. Selbstverständlich muss das Wasser eine geringe Quantität löslicher Mineralsalze enthalten. Das Wasser hatte Zimmertemperatur.

Es ist in diesem Falle anzunehmen, dass die unmittelbare Reizung eine relativ kleine Partie der Muskelmasse trifft, dafür aber an einer solchen Stelle, wo zahlreiche Muskelfasern aus verschiedenen Schichten der Muskulatur verlaufen. Andererseits wird die Reizung durch die geringe Tiefe, um die das Herz in's Wasser taucht, sowie auch durch das geringe elektrische Leitungsvermögen des Wassers begünstigt. Die Herzschläge wurden myographisch aufgenommen, d. h. die Herzspitze wurde mittelst eines über eine oder zwei Rollen verlaufenden Fadens mit einem Schreibhebel verbunden[2]).

Was die Reizung betrifft, so verwendete ich den intermittirenden Inductionsstrom von einem Schlittenapparate (1—3 Elemente) sowie auch von einem magneto-elektrischen Inductorium (Ducretet). Schon seit längerer Zeit war es mir aus eigenen Versuchen mit Kymo- und Orthorheonomen bekannt, dass das Herz, besonders bei herabgesetzter Thätigkeit, für elektrische Reize von geringer Steilheit (Zeitreize) sehr empfindlich ist; es überraschte mich desshalb nicht die ausserordentliche Erregbarkeit des Herzens der Warmblüter (sowie auch des Frosches) für die magneto-elektrischen Inductionsströme, sogar bei geringer Steilheit derselben, d. h. bei sehr langsamer Drehung des Apparates, die gewöhnlich eine bedeutende

---

1) Soviel ich weiss, wurde diese Methode am Froschherzen systematisch von Engelmann und Kaiser angewendet.

2) Die eine Rolle war am Boden des die Flüssigkeit enthaltenden Gefässes befestigt. Mittelst eines Seitenröhrchens wurde das Niveau der Flüssigkeit immer auf der gleichen Höhe erhalten. Das Emporsteigen des Herzens aus der Flüssigkeit bei der Systole war unbedeutend.

Vergrösserung der systolischen Contractionen und eine starke Beschleunigung derselben bewirkt[1]).

Die zweite sehr wichtige Eigenthümlichkeit der Reizung des ausgeschnittenen Herzens bestand darin, dass man zur Bewirkung der verstärkten systolischen Contractionen und deren Superpositionen gar nicht nöthig hat, maximale Reize anzuwenden; im Gegentheil, die mittlere systolische Höhe steigt in angesprochener Weise über die Abscisse bei schwacher und mittlerer Reizung und sinkt deutlich bei der maximalen („Pessimum" der Reizung). Bei combinirter Verstärkung des Stromes und Erhöhung der Frequenz der Unterbrechungen desselben tritt das „Pessimum" am besten zu Tage; besonders deutlich wird diese Erscheinung bei der Anwendung eines magneto-elektrischen Inductoriums; bei langsamer Drehung steigen die Cardiogramme, bei schnellerer sinken sie; diese Erscheinung lässt sich aber vollkommen deutlich verfolgen, auch bei blosser Verstärkung des Stromes ohne Veränderung der Frequenz, sowie auch vice versa. Offenbar kommt überhaupt dieses „Pessimum" leichter zu Stande, wenn das Herz sich in einem hypodynamischen Zustande befindet, was bei der Langendorff'schen Methode schon in Folge der Versuchsbedingungen natürlich der Fall ist, besonders, wenn das Herz von aussen her nicht erwärmt wird und der Versuch genügend lange dauert.

J. Trutowsky erzielte einen Tetanus des Froschherzens (des Ventrikels), indem er auf dasselbe sehr häufige Unterbrechungen des galvanischen Stromes einwirken liess. Er bemerkte dabei, dass bei genügender Frequenz der elektrischen Schläge (die Stromintensität bleibt constant) eine Verminderung der systolischen Contraction, ein

1) Ueber die energische Wirkung der langsam verlaufenden Inductionsströme (einer Stöhrer'schen Maschine z. B.) auf die glatte Muskulatur berichten die Arbeiten von Grützner (siehe Asher und Spiro, Ergebnisse der Physiologie 3. Jahrg. 2. Abth. S. 37) und Winkler (Pflüger's Arch. Bd. 71 S. 381. 1898). Kaiser zeigte, dass langsam verlaufende Stromschwankungen die Herzspitze reizen, während sie auf das Nervmuskelpräparat keinen Einfluss ausüben (Zeitschrift f. Biol. Bd. 30 u. 32 S. 464). Es existieren überhaupt viele Untersuchungen über die Wirkung der elektrischen Reizung auf's Herz; von diesen beziehen sich einige auf das Warmblüterherz, so z. B. S. Mayer (Wiener akad. Sitzungsber. Bd. 68 Abth. 3 Juli-Heft. 1873), Neumann (Pflüger's Arch. Bd. 39 S. 413. 1886), Alex. Fonrobert (Ueber die elektrische Reizung des Herzens S. 25 ff. Rostock 1895) und Andere.

Depressionszustand erfolgt[1]) (ein „Pessimum" in Folge der grossen Häufigkeit der Reizung). Je abgeschwächter das Herz ist, um so leichter kommt eine solche Depression der Contractionen zu Stande. — Es ist noch zu erwähnen, dass auch F. B. Hofmann eine analoge Erscheinung der Herabsetzung der Systole bei häufigerer elektrischer Reizung am Froschherzen beobachtete[2]). Bei den erwähnten Reizungsbedingungen ist es nicht schwer, sich zu überzeugen, dass das Kaninchenherz, und zwar die Ventrikel, bei starker Frequenz der Systolen die mittlere systolische Höhe in ausgesprochener Weise zu steigern befähigt sind, wobei die Gipfel der Systolen immer höher werden als die Norm, und die diastolische Erweiterung immer kleiner wird (Superposition); diese Contractionen und Erschlaffungen verschmelzen endlich zu einer geraden Linie fast ohne irgend welche Zacken (Tetanus)[3]). Eine solche tetanische Contraction wird sowohl auf der gleichen Höhe mit der normalen Systole als auch oberhalb derselben beobachtet; wendet man aber einen starken Reiz an, so tritt das Pessimum in Form einer geraden tetanischen Linie unterhalb der normalen systolischen Contraction zu Tage. In diesem letzteren Falle haben wir es also mit einer Art submaximalen Tetanus zu thun.

Wie gesagt, beschränkt sich die Erscheinung des Tetanus bloss auf die Ventrikel; die Vorhöfe dagegen fahren fort, wie vorher sich rhythmisch zu contrahiren. Es gelang mir bisher nie, mögen die Bedingungen des Eintauchens des Herzens in Wasser, ja sogar der directen Reizung noch so verschieden sein, eine echte tetanische Contraction der Vorhöfe und Auricula zu erzielen, ein Umstand, der sich in gewissem Sinne mit der hohen Automatie dieser Herzabschnitte und mit der relativ geringen Erregbarkeit derselben für äussere Reize im Vergleiche mit den Ventrikeln in Einklang bringen lässt.

1) J. Trutowsky, Zur Lehre von der physiologischen Wirkung häufiger elektrischer Schläge auf Herz, Nerven und Muskeln. Charkow 1897 (russisch). Dieselbe Erscheinung der „Depression" in Folge der grossen Häufigkeit der Reizungen zeigte er an curarisirten Muskeln, sensiblen Nerven, am Rückenmarke, an Muskeln der Wirbellosen; er untersuchte auch den Einfluss von Temperatur, Ermüdung, Absterben auf die Depressionsschwelle. (Die Untersuchungen wurden in meinem Laboratorium ausgeführt.)

2) F. B. Hofmann, Pflüger's Arch. Bd. 84 S. 130. 1901.

3) Bei einer feinen Registrirung und mit Hülfe einer Lupe merkt man doch meistens auf dieser „geraden" tetanischen Linie zahlreiche kleine Zacken.

Am Ende der Reizung wird gewöhnlich eine lange Pause beobachtet; dann tritt eine Art „compensatorische“ [1]), sehr hohe und langdauernde Systole auf, worauf sich nach zwei bis drei Herzschlägen der normale Rhythmus und die normale Höhe der Contractionen einstellen [2]). Uebrigens kann sich die nachfolgende lange Pause auch nach der compensatorischen Systole, welche gewöhnlich höher als die tetanische Contraction ausfällt, wiederholen. Es ist von Interesse, dass die oben erwähnte lange Pause und „compensatorische“ Systolerhöhung auch nach sehr kurzdauernden (½—1″) Reizung deutlich auftreten (s. Fig. 14).

Viel seltener, und zwar schon am Ende des Versuches an Herzen, welche der Wirkung fremdartiger Substanzen oder der Reizung während längerer Zeit ausgesetzt waren, hat man Gelegenheit zu beobachten, dass bereits nach dem Aufhören der elektrischen Reizung der Tetanus der Ventrikel nicht destoweniger während mehrerer Secunden (10—12) mit der gleichen Stärke oder allmählich sinkend andauert. Eine solche Nachwirkung deutet zweifellos auf eine tiefe Läsion der physiologischen Eigenschaften des Herzens im Sinne einer Hypodynamie und einer Schwächung der Automatie hin.

Was die Frequenz des Herzschlages betrifft, so wächst sie gewöhnlich in ausgesprochener Weise während der Reizung, ja selbst bis 300 in einer Minute (vgl. die Curven 2, 4, 5 und 6); die tetanische Contraction kann aber auch ohne Steigerung der Frequenz auftreten (Curve 3, a und b), besonders am abgeschwächten Herzen (Curve 7—11). Selbstverständlich können sich die Superposition und Summirung der Systolenhöhe sowie auch die anscheinende Geradlinigkeit der tetanischen Zuckungscurve am Cardiogramme in verschiedener Weise combiniren, je nach den Eigenschaften des Herzens und den Bedingungen des Versuches. Wir finden z. B. manchmal eine scharf ausgesprochene Summation der Contractionshöhen (von der Abscisse ab), d. h. eine starke Zusammenziehung der Ventrikel, aber mit deutlich ausgesprochenen einzelnen Systolen (Curve 2),; andererseits aber kann eine glatte tetanische Linie fast

1) Ich will gerne zugeben, dass sich gegen die Anwendung dieser Ausdrucksweise in unserem Falle Vieles einwenden lässt.

2) Die Wiederherstellung des normalen Rhythmus und der normalen Systolenhöhe tritt an „frischen“ Herzen ziemlich rasch, selbst nach einer starken Perturbation der Herzthätigkeit in Folge einer kräftigen Reizung, auf (siehe Fig. 3, 13).

ohne irgend welche Zeichen von einzelnen Systolen eine geringere Höhe zeigen als die einzelne normale Systole (Curve 4 oder 6).

Unabhängig vom Grade des Eintauchens des Herzens in's Wasser, von der Stärke der Reizung, vom Grade der Frische des Herzens, kann die Höhe der tetanischen Contraction auch auf einem anderen Wege beeinflusst werden, und zwar wenn man anstatt der langdauernden ununterbrochenen Tetanisation, ceteris paribus, eine kurzdauernde intermittirende Reizung während 2—3 Secunden periodisch mit kurzen Pausen anwendet; in solchen Fällen steigt die Höhe des Tetanus allmählich bei jeder nachfolgenden Tetanisation und wird deutlich höher als bei der ununterbrochenen und andauernden Tetanisirung[1]).

In denjenigen Fällen, wo die chemische Zusammensetzung der Nährflüssigkeit wechselte, werden die Abweichungen der physiologischen Eigenschaften begreiflicher, besonders wenn man berücksichtigt, dass manche Bestandtheile derselben die Systole begünstigen, andere dagegen die Diastole (E. Gross, O. Lanzendorff und W. Haeck u. A.). Schon a priori wäre anzunehmen, dass diese letzteren Substanzen der tetanischen Contraction hinderlich sein müssen, während die ersteren dieselbe begünstigen. Die Untersuchungen von Ringer und Sainsbury[2]) am Froschherzen haben nämlich ergeben, dass chemische Substanzen der Dauer der refractären Phase beeinflussen können: indem diese Autoren den Gehalt der Natriumsalze in der Nährflüssigkeit verminderten, erhielten sie eine deutliche Verkürzung derselben; sie konnten in Folge dessen unter dem Einflusse eines äusseren Reizes Superpositionen und dauernde tonische Contractionen mit Leichtigkeit erhalten; Ant. Walther (l. c.) zeigte ebenfalls die Möglichkeit einer Abkürzung der refractären Phase durch die Einwirkung toxischer Agentien, und zwar des Muscarins, welches — nebenbei bemerkt — das Entstehen der

1) Wendet man als Reiz die magneto-elektrischen Inductionsströme an, so kann man relativ leicht einen Tetanus der Herzventrikel (des Frosches) erhalten, ohne irgend welche Alkaloïde anwenden zu müssen; zuerst kommt eine Superposition der frequenten Systolen zu Stande, dann auch ein wahrer Tetanus; die gemeinsame Höhe der Curve steigt dabei über die Abscisse in scharf ausgesprochener Weise, oder sie wird nur etwas höher als die normale Systole; auch in Bezug auf diese Höhe hatte ich die Gelegenheit, die Erscheinung des „Pessimum" der Reizung zu beobachten.

2) Journal of physiology vol. 4 p. 350. 1884.

Bowditch'schen „Treppe" am Froschherzen bedeutend begünstigt. — Die Kalksalze dagegen verlangsamen den Rhythmus und verlängern die refractäre Phase (Howel, cit. Hamburger, Osmotischer Druck usw. Bd. 3, S. 124, 1904). Uebrigens werden diese Fragen sowie auch andere, die sich auf den Einfluss von Sauerstoff, Alkali, Temperatur, Gifte, gleichzeitiger Reizung des Vagus, Ermüdung und dergl. beziehen, in den folgenden Untersuchungen in meinem Laboratorium berührt werden. In der vorliegenden kurzen Mittheilung gestatte ich mir, nur noch eines Versuches zu erwähnen, in dem die tetanische Herzcontraction (Kaninchen) unter dem Einflusse der Reizung ununterbrochen während 2½ Minute andauerte, ohne die Höhe zu vermindern, d. h. ohne irgend eine Ermüdung zu zeigen!

Selbstverständlich müssen beim Studium der tetanischen Herzcontractionen, — unter welchen Umständen sie auch entstehen mögen, — nicht nur die Veränderungen der physiologischen Eigenschaften der Automatie und der Refractärität berücksichtigt werden, sondern auch die Veränderungen solcher Eigenschaften wie Dehnbarkeit und Elasticität. Es ist sehr wahrscheinlich, dass sich dazu in manchen Fällen auch solche physikalisch-chemische Veränderungen der Muskelsubstanz beigesellen können, die den Processen der Todtenstarre mehr oder minder nahe stehen.

Was das normale Herz in situ anbetrifft, so ist begreiflicher Weise die Uebertragung der Resultate, die am ausgeschnittenen und abgekühlten Herzen bei so künstlichen Bedingungen gewonnen sind, auf's Herz im normalen Zustande nicht immer möglich. Da mir vorläufig ausreichend begründete experimentelle Ergebnisse in dieser Frage nicht zur Verfügung stehen, so kann ich bloss die Voraussetzung aufstellen, dass das normale Herz in Bezug auf die tetanisirende Reizung in höherem Maasse refractär sein muss als das ausgeschnittene anormale, dass aber aller Wahrscheinlichkeit nach diese Widerstandsfähigkeit durch toxicologische und pathologische Bedingungen vermindert werden kann. Alle Umstände, welche die refractäre Phase des Herzens abkürzen und die Erregbarkeit desselben erhöhen, müssen offenbar die tetanische Contraction desselben begünstigen, besonders bei bereits eingetretener Hypodynamie des Herzens. A. Walther zeigte am Froschherzen, dass eine „Hypodynamie" der Ventrikel, welche das Auftreten des Tetanus begünstigt, sogar auf nervösem Wege erzielt werden kann, und zwar durch

Reizung der inotropen Vagusfasern (Scheidewandnerven) nach F. B. Hofmann.

Die hier angedeuteten Fragen sind zweifellos auch für die Pathologie des menschlichen Herzens von Interesse[1]).

Erklärung der Zeichnungen (Cardiogramme).

Die Curven sind in der Richtung des Pfeiles zu lesen. Die Erhebung der Curve über die Abscisse entspricht der Systole, die Senkung — der Diastole. Der dicke Strich *ab* auf der Abscisse bezeichnet die Periode der elektrischen Reizung des Herzens durch das Wasser. Die Linie *ss* gibt Secunden an, an manchen Tabellen auch halbe Secunden. Die Zahlen in den Figuren 4—11 (und zwar: 0, 10, 20, 40, 70, 80, 90, 100, 110, 120) bestimmen die Stärke der Reizung; sie geben nämlich den Abstand zwischen den Rollen des Schlittenapparates an: je kleiner die Zahl, desto stärker der Strom.

Fig. 1 und 2 zeigen eine Superposition und Summation der Contractionen mit scharf ausgesprochener Steigerung ihrer gemeinsamen Höhe über die Abscisse und Verminderung der Amplitude (das Herz ist stark contrahirt, Fig. 2). Nach der letzten Diastole tritt eine colossale „compensatorische" (siehe im Text) Systole auf.

Fig. 3 *a* und *b* zeigen einen Tetanus der Ventrikel; in *b* dauerte der Tetanus 27 Secunden; eine fast unmittelbar folgende Wiederherstellung der normalen Herzcontractionen.

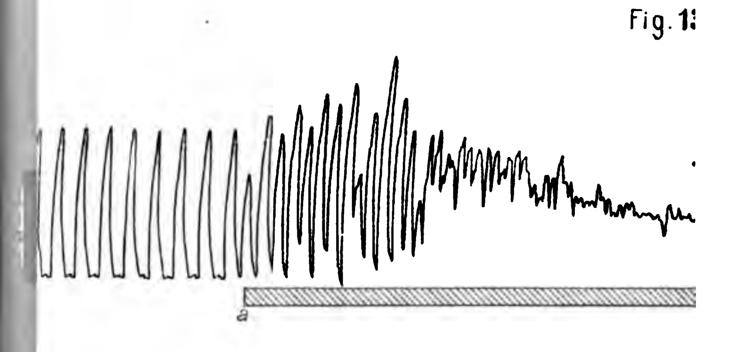
Fig. 4, 5 und 6. Die Curven gehören ein und demselben Versuche an; an diesen Curven macht sich eben die Erscheinung des „Pessimum" geltend, so z. B. ist der Tetanus bei „0" in Fig. 4 niedriger als bei „80" u. s. w.

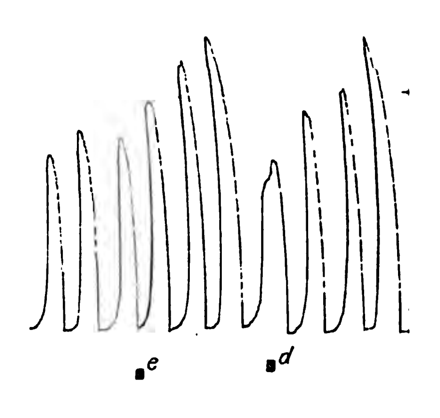
Fig. 7, 8, 9, 10, 11 beziehen sich auf ein und denselben Versuch; das Herz ist durch die lange Dauer des Versuches und durch die Wirkung der starken Lösung von Maltose, nach welcher die Coronargefässe längere Zeit mit der Locke'schen Flüssigkeit ausgewaschen wurde, stark abgeschwächt. Die Erscheinung des „Pessimum" ist vollkommen deutlich ausgesprochen. Die Cardiogramme zeigen deutlich vom anormalen Zustande des Herzen, was besonders an dem Plateau systolique und anormalen Cardiogrammen nach *ab* zum Ausdruck kommt. Die Unterbrechungen des Inductionsstromes sind ziemlich selten.

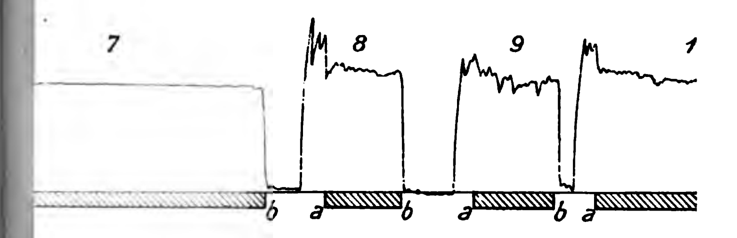
---

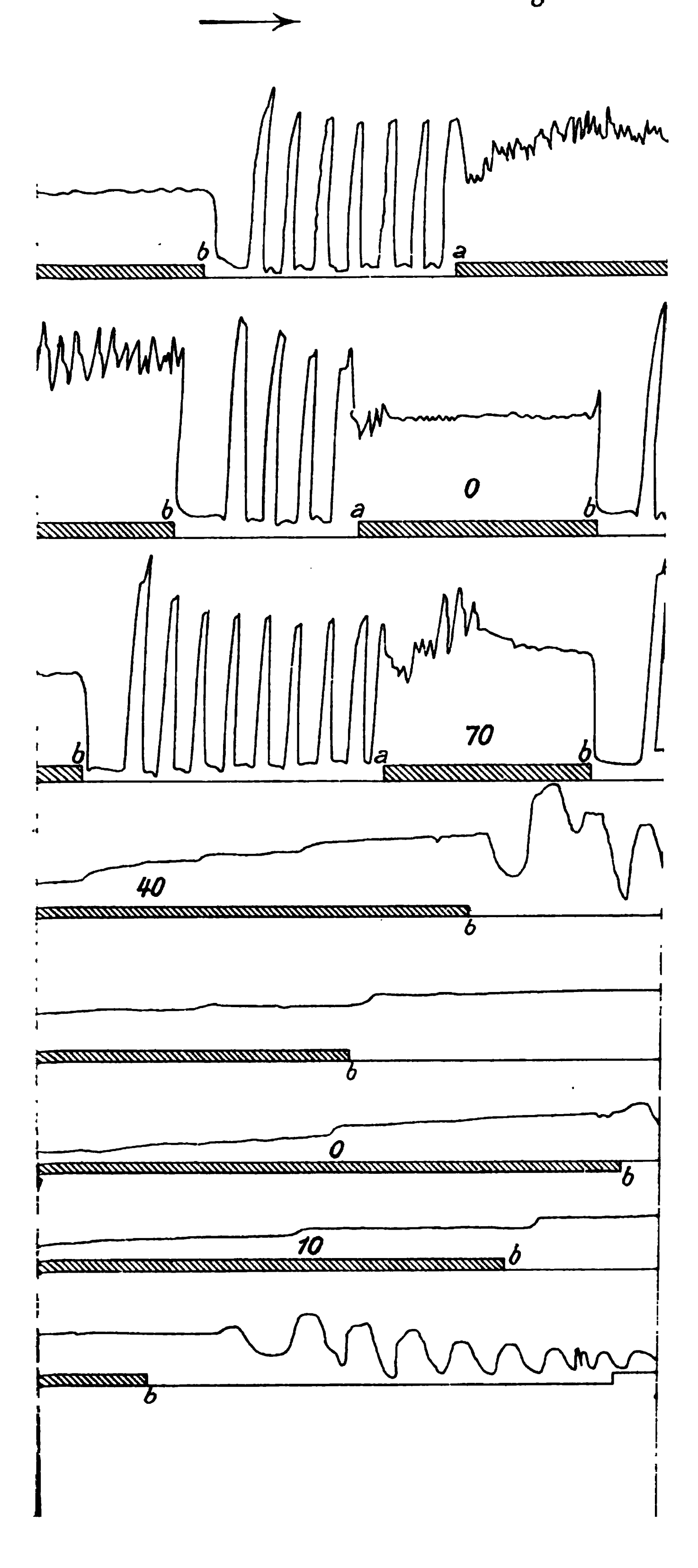
1) Es ist kaum zu bezweifeln, dass verschiedene Cardiaca und Narcotica sowie auch Veränderungen der Alkalität, des Sauerstoff- und Kohlensäuregehaltes des Blutes unter Anderem auch die Stärke und Dauer der refractären Phase des Herzens und desshalb auch die Eigenschaft der Superposition der systolischen Contractionen, die Bildung der tetanischen Systole, der Extrasystole, des Pulsus bigeminus u. dergl. beeinflussen müssen.

Fig. 1[illegible]









s
b
a
b
a
0
b
b
a
70
b
40
b
b
0
b
10
b
b

Fig. 12. Zehn Reizungsperioden, der Inductionsstrom einer und derselben Intensität und Frequenz; eine deutliche Steigerung der Tetanushöhe mit jeder nachfolgenden Reizung (vergl. 2, 3, 4, 5 sowie auch 7, 8, Anfang von 10). — Fast überall wird die „compensatorische“ Systolenhöhe von der des nachfolgenden Tetanus übertroffen.

Fig. 13. Von *a* bis *b* Reizung mittelst magneto-elektrischen Strömen mit allmählich steigernder Intensität und Frequenz; im Moment *C* maximale Drehungsgeschwindigkeit des Apparates; eine deutliche „Pessimum“erscheinung; auffallend rasche Wiederherstellung der normalen Herzcontractionen und verhältnissmässig schwache „compensatorische“ Systole (vergl. Fig. 7—11).

Fig. 14. Sehr kurzdauernde Reizung (*a*, *b*, *c*, *d*, *e*), etwa eine halbe Secunde; trotzdem werden die „compensatorischen“ Störungen der Herzcontractionen sehr deutlich (drei nachfolgende Systolen).

(Aus dem pharmakologischen Institut der Universität Heidelberg.)

Wirkungsweise einiger Gifte auf den isolierten Dünndarm von Kaninchen und Hunden.

Von

K. Kress.

(Mit 10 Textfiguren.)

Die in nachfolgendem mitgeteilten Untersuchungen schliessen sich unmittelbar an an die Arbeit von R. Magnus: „Wirkungsweise und Angriffspunkt einiger Darmgifte“, welche als V. Mitteilung über „Versuche am überlebenden Dünndarm von Säugetieren“ vor kurzem in Bd. 108 dieses Archivs erschienen ist. Die Resultate sind in jener Arbeit fast ausschliesslich am Dünndarm der Katze gewonnen worden, und es erschien daher notwendig, die Erfahrungen durch Versuche am Darm von Kaninchen und Hunden zu vervollständigen, da wir z. B. durch die Arbeiten von Bayliss und Starling — (The movements and innervation of the small intestine — Journ. of physiol. vol. 24 p. 99, 1899) — wissen, dass die Darmbewegungen bei verschiedenen Säugetieren gewisse charakteristische Unterschiede zeigen.

Daher habe ich dieselben Gifte (mit Ausnahme von Muskarin) wie Magnus verwendet und die Art ihrer Wirkung auf den Kaninchen- und Hundedarm in etwa 51 Einzelversuchen durch graphische Registrierung festzustellen versucht. Dabei wurden zumeist die Bewegungen der Längsmuskulatur aufgezeichnet, nur in der Minderzahl der Fälle die Ringsmuskelschreibung angewandt.

Dagegen habe ich darauf verzichten müssen, den Angriffspunkt der einzelnen Darmgifte in ähnlicher Weise wie Magnus zu ermitteln, welcher sie auf Präparate mit und ohne Auerbach'schen Plexus einwirken liess, da das Verfahren zur Trennung der nervösen Zentren von der Darmmuskulatur bei Hund und Kaninchen noch nicht ausgebildet ist.

Die Technik der Versuche ist ganz die gleiche wie die beim Katzendarm verwendete. Die Kaninchen wurden durch Nackenschlag getötet, der Dünndarm in Ringer'scher Lösung unter Sauerstoffdurchleitung bei Körpertemperatur gehalten und die zu den Versuchen verwendeten Stücke jedesmal in 200 ccm Flüssigkeit untersucht, zu welcher die Gifte in Lösung dann vorsichtig zugesetzt wurden.

Die Hunde wurden durch Äther und Chloroform betäubt, ihnen dann der Darm entnommen und die Tiere aus der Karotis verblutet. Es stellte sich nämlich heraus, dass der Hundedarm in Ringer-scher Lösung oft nicht so lange frisch bleibt, als es für längere pharmakologische Versuche wünschenswert ist. Daher wurde meist das defibrinierte Blut der Tiere mit Ringer'scher Flüssigkeit verdünnt als Untersuchungsflüssigkeit verwendet.

Für alle übrigen Einzelheiten sei auf die Magnus'sche Arbeit verwiesen.

Untersucht wurden: Pilocarpinum hydrochloricum (Merck), Physostigminum salicylicum (Merck), Atropinum sulfuricum (Merck), Nikotin (Kahlbaum), Strophantin (Thoms), Suprareninum hydrochloricum (Höchst), Apocodeinum hydrochloricum (Merck) und Chlorbaryum.

Alle diese Substanzen wurden am Kaninchendarm geprüft, die meisten auch am Hunde, besonders, wenn sich Unterschiede zwischen Katze und Kaninchen herausgestellt hatten.

Das Allgemeinergebnis der Versuche war, dass die Gifte im grossen ganzen bei den drei Tierarten in gleicher Weise auf den Darm einwirken. Nur beim Nikotin ergaben sich charakteristische Unterschiede, und auch das antagonistische Verhalten der verschiedenen Gifte zeigte sich nicht als gleichartig.

Nach der gleichen Methode haben in neuester Zeit auch Kuliabko und Alexandrowitsch[1]) am Kaninchen und Ott[2]) an Katze und Kaninchen gearbeitet. Die Ergebnisse werden weiter unten berücksichtigt werden. Für alles übrige sei auf die eingehende Literaturübersicht von R. Magnus in den Ergebnissen der Physiologie Bd. II S. 637, 1903 verwiesen.

---

1) Kuliabko und Alexandrowitsch, Wirkung verschiedener Substanzen auf die automatische Bewegung des isolierten Warmblüterdarms. Zentralbl. f. Physiol. Bd. 18 S. 277. 1904. (Vorl. Mitt.)

2) J. Ott, Intestinal Peristaltis. Action of different agents upon it. Contrib. from Physiol. laborat. of med. chir. College of Philadelphia 1905.

1. Pilokarpin.

Auf 1—5 cg Pilokarpin treten am Kaninchendarm die ausgesprochensten Erregungserscheinungen auf. In der Magnus'schen Arbeit ist auf S. 24 Fig. 13 davon schon ein Kurvenbeispiel gegeben: Einfaches Ansteigen des Tonus mit erhaltenen Pendelbewegungen nach 1 cg. (Vgl. auch unten Fig. 4.) Auf 5 cg kommt es meist zu so starker Kontraktion, dass die Pendelbewegungen mehr oder weniger verschwinden.

2. Physostigmin.

Auf 4 cg Physostigmin kommt es am Kaninchendarm zu äusserst heftiger Erregung, noch hochgradiger als bei der Katze nach der gleichen Dosis. Nachstehende Fig. 1 zeigt die heftige Kontraktion,

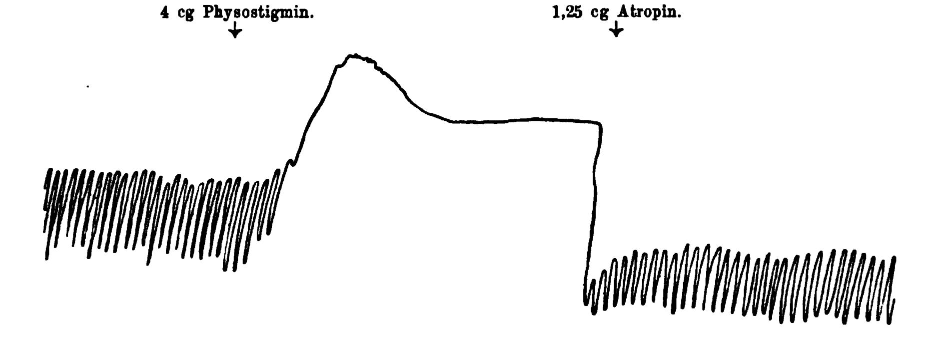


Fig. 1. Versuch 165 B. Kaninchendarm, Längsmuskelschreibung. Auf 4 cg Physostigmin sofortige Tonussteigerung. Auf 2,5 cg Atropin steiler Tonusfall und Wiederbeginn der Pendelbewegungen.

die mit einer „Nase“ beginnt und zum Verschwinden der Pendelbewegungen führt. Letztere treten aber sofort wieder ein, nachdem durch eine kleine Atropindosis der Tonus wieder herabgesetzt ist. (Über die Atropinwirkung vgl. unten.)

3. Atropin.

Atropin ruft ebenso wie an der Katze auch am Kaninchen- und Hundedarm zuerst Erregung, dann Lähmung hervor. Die erregende Wirkung des Atropin hat bekanntlich Hagen am Kaninchen gefunden. Auch am isolierten, überlebenden Dünndarm dieses Tieres

ist die Erscheinung sehr deutlich und in der Mehrzahl der Fälle demonstrierbar. Nach 1,25 cg auf 200 Ringer's Lösung bekommt man die leichten Grade der Erregung, nach 5 cg ist sie am deutlichsten ausgesprochen. Nachstehende Fig. 2 gibt ein gutes Bild dieses Vorganges: Auf 1,25 cg Atropin Vergrösserung der vorher schwachen Bewegungen, nach weiteren 5 cg schöne Tonussteigerung,

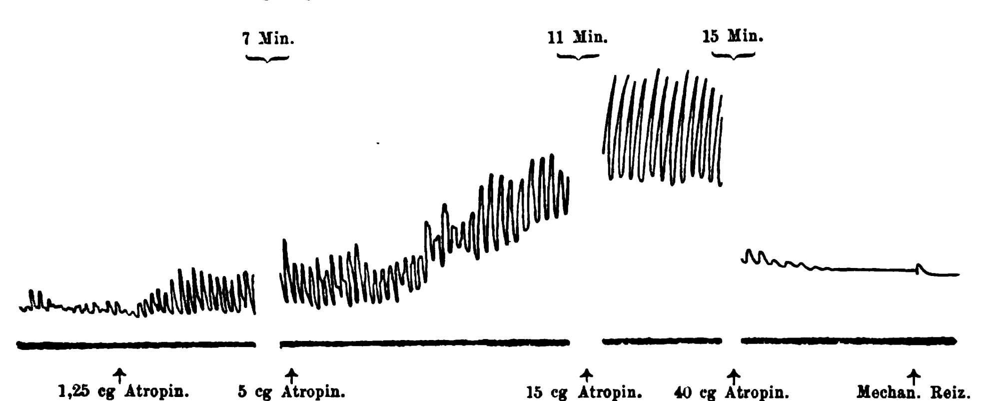


Fig. 2. Versuch 163 A. Kaninchendarm, Längsmuskelschreibung. Auf 1,25 cg Atropin Zunahme der vorher schwachen Pendelbewegungen, auf 6,25 cg und 21,25 cg Tonusanstieg und kräftige Pendelbewegungen, auf 61,25 cg Stillstand der Bewegungen bei tiefem Tonus, dabei ist die mechanische Erregbarkeit noch schwach erhalten. (Auf 1/3 verkleinert.)

nach im ganzen 21 cg sehr ausgiebige Pendelbewegungen bei hohem Tonus, dann Absinken und nach 60 cg Stillstand der Bewegungen im Zustand der Erschlaffung, wobei zunächst die mechanische Erregbarkeit noch schwach erhalten ist. Im allgemeinen gilt die Regel, dass die Atropinerregung um so deutlicher hervortritt, je schwächer vorher die Normalbewegung des Darmes war. Das Gleiche gilt für den Hundedarm. Hier liegt die erregende Dosis etwa bei 5,0 bis 7,5 cg. Präparate, welche vorher keine sichtbaren Bewegungen erkennen liessen, zeigen nach Atropin schöne Pendelbewegungen. Fig. 3 diene als Beispiel.

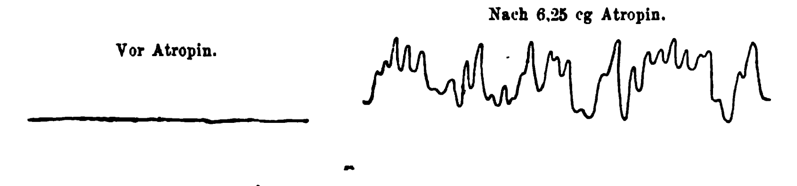


Fig. 3. Versuch 176 B. Hundedarm, Längsmuskelschreibung. Auf 6,25 cg Atropin treten an dem vorher stillstehenden Darm lebhafte Pendelbewegungen auf.

Die lähmende Wirkung des Atropins tritt, wie bei der Katze, erst nach beträchtlich höheren Dosen ein. Fig. 2 zeigte den Stillstand nach 60 cg, doch erfolgt schon nach 25—30 cg bei Kaninchen und Hunden oft beträchtliche Abnahme der Darmbewegungen.

Ganz ausserhalb des Bereiches dieser lähmenden Wirkung liegen nun die Dosen, welche den durch Pilokarpin oder auch Physostigmin gesteigerten Tonus herabsetzen. Nach Pilokarpin reichen dazu schon 0,6 cg hin (Fig. 4), bei Physostigmin genügen 1,25 cg

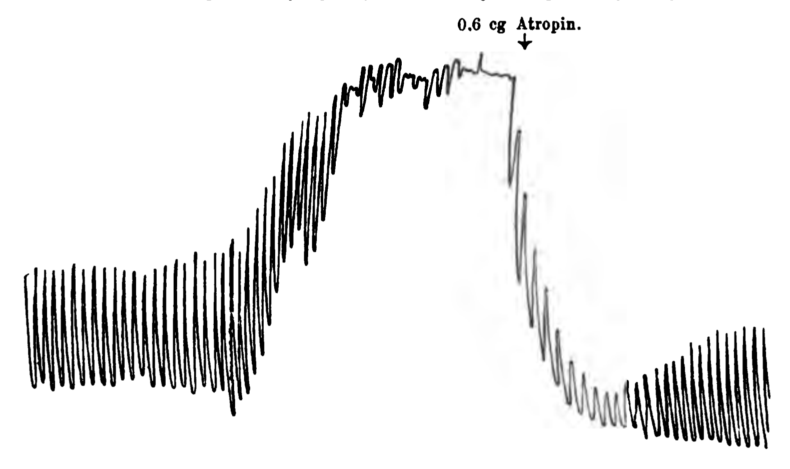


Fig. 4. Versuch 167 B. Kaninchendarm, Längsmuskelschreibung. Auf 5 cg Pilokarpin starke Erregung, welche durch 0,6 cg Atropin prompt beseitigt wird.

(vgl. oben Fig. 1), während 0,6 cg noch fast unwirksam sind. Das sind alles Atropinmengen, welche am normalen Präparat gerade eben geringe Erregung oder überhaupt keine nachweisbare Wirkung, keinesfalls aber Lähmung hervorrufen. Es ergibt sich also beim Kaninchen im Prinzip das Gleiche wie bei der Katze, nur mit dem Unterschied, dass auch die Physostigminerregung durch sicher nicht lähmende Dosen aufgehoben wird, während bei der Katze dazu etwas grössere Mengen nötig waren.

Nach vorheriger schwacher Atropinvergiftung (1,25—5 cg) gelingt es meist weder mit Pilokarpin, noch mit Physostigmin irgendwelche Erregungserscheinungen zu bekommen. Nur in einem Falle

sah ich nach 4 cg Atropin noch eine erregende Wirkung von 4 cg Physostigmin. Es bestehen also beim Kaninchendarm keine prinzipiellen Unterschiede zwischen Physostigmin und Pilokarpin in ihrem Verhalten gegenüber dem Atropin, so dass sich hieraus keine Schlüsse über einen etwaigen verschiedenen Angriffspunkt beider Gifte herleiten lassen.

Wie bei der Katze besitzen also kleine Dosen Atropin eine doppelte Wirkung; die Darmbewegungen zu erregen, besonders wenn sie vorher schwach sind, und anderseits den durch gewisse Gifte (Pilokarpin, Physostigmin, „Apozin“ [Kuliabko und Alexandrowitsch]) gesteigerten Tonus herabzusetzen. Erst sehr viel grössere Dosen führen zur Lähmung.

4. Nikotin.

Die charakteristische Wirkung des Nikotins am isolierten Dünndarm der Katze ist eine starke, vorübergehende Hemmung, an welche sich dann eine nicht sehr hochgradige Erregung anschliesst. Beim Kaninchen ist der Effekt der umgekehrte: Die Erregung ist das hervorstechendste Symptom und die anfängliche Hemmung tritt ganz zurück.

Die erregende Wirkung des Nikotins am Kaninchendarm ist bekanntlich von Nasse beschrieben, von Salvioli und neuerdings

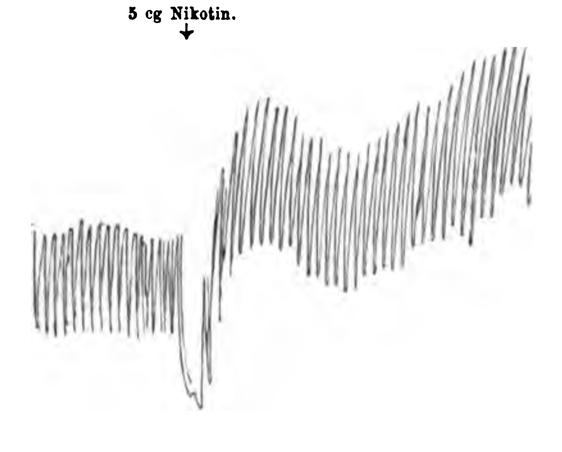


Fig. 5. Versuch 169 A. Kaninchendarm seit 14 Minuten unter dem Einfluss von 1,25 cg Atropin, Längsmuskelschreibung. Auf 5 cg Nikotin erfolgt kurze Hemmung mit anschliessender Erregung.

von Ott auch am isolierten Dünndarm gefunden worden. Die erregenden Dosen liegen zwischen 1 und 20 cg auf 200 Ringer's Lösung, besonders sind die grösseren Dosen wirksam. In einer Flüssigkeit, welche schon stark nach Nikotin riecht, kann der Darm noch lange äusserst lebhafte Bewegungen ausführen. Trotzdem besteht kein prinzipieller Gegensatz zum Katzendarm. Es zeigt sich nämlich auch am Kaninchendarm in fast allen Fällen, dass der Erregung eine geringe und kurzdauernde, aber deutliche Hemmung vorhergeht, welche meist nur die Dauer von ein oder zwei Pendelbewegungen besitzt. Fig. 5 gibt ein charakteristisches Beispiel: Auf 5 cg Nikotin erfolgt zuerst vorübergehende Erschlaffung, an welche sich dann starke Tonussteigerung anschliesst. In anderen Fällen macht sich die Hemmung nur dadurch bemerkbar, dass eine Pendelbewegung erniedrigt ist; aber nur in seltenen Fällen wird sie ganz vermisst. Sie tritt nur bei der ersten Zufuhr von Nikotin ein, nicht bei wiederholten Gaben.

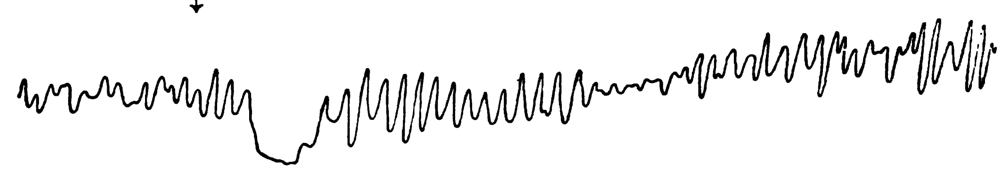


Fig. 6. Versuch 177 C. Hundedarm seit 22 Minuten unter dem Einfluss von 2,5 cg Atropin auf 400 Blut Ringer-Mischung, Längsmuskelschreibung. Auf 5 cg Nikotin kurze Hemmung mit anschliessender Erregung.

Beim Hundedarm tritt die Hemmung noch mehr zurück. Hier habe ich sie eigentlich nur ein einziges Mal beobachten können. Fig. 6 gibt den betreffenden Versuch wieder, in welchem auf 5 cg Nikotin deutliche kurze Hemmung erfolgt, an welche sich dann eine leichte Erregung anschliesst. In sieben anderen Fällen kam es gleich zur Erregung, wovon Fig. 4 ein Beispiel veranschaulicht.

Es muss daher die von Bayliss und Starling nach Nikotin beobachtete Hemmung, welche bei Hunden mit durchschnittenen Splanchnicis auf intravenöse Injektion eintritt, in Übereinstimmung mit den Autoren, allein auf Erregung der sympathischen Ganglien bezogen werden, während bei Katzen die periphere Hemmung in

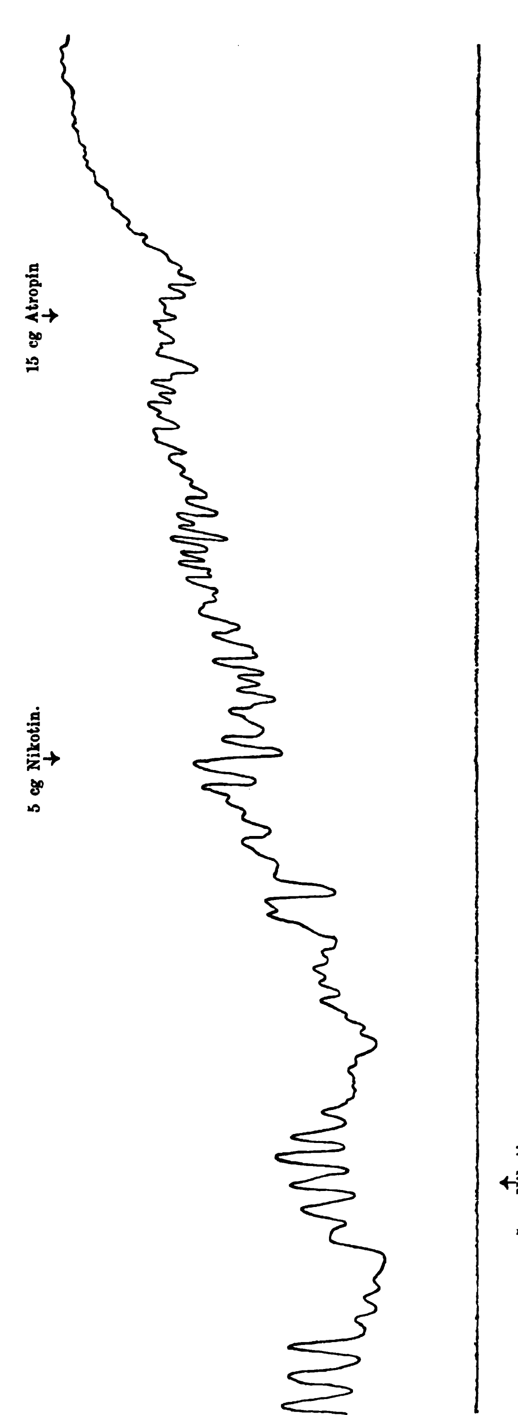


Fig. 7. Versuch 180 A. Hundedarm, Längsmuskelschreibung. Auf 5 + 5 cg Nikotin Erregung ohne deutliche vorhergehende Hemmung. Auf 15 cg Atropin kein Absinken des Tonus.

der Darmwand dabei auch mitspielt. Erst sehr grosse Dosen Nikotin (50 cg) führen bei Hunden zur schnellen Lähmung.

Vorherige Behandlung mit kleinen Atropindosen (1,25 cg) vermag beim Kaninchendarm die Wirkung nachher gegebenen Nikotins nicht zu verhindern (Fig. 5). Dagegen tritt auf 20 cg Nikotin nach vorheriger Gabe von 4 cg Atropin keine Erregung mehr ein; es kommt zu rascher Lähmung, gerade wie beim Katzendarm (s. Fig. 8). Beim Hunde dagegen war nach 5 cg Atropin durch 5 cg Nikotin noch eine erregende Wirkung zu erzielen.

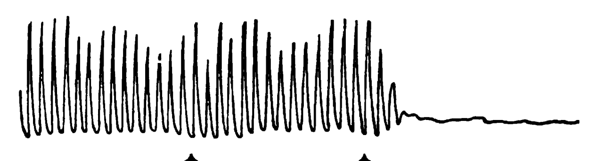


Fig. 8. Versuch 169 B. Kaninchendarm seit 13 Minuten unter dem Einfluss von 4 cg Atropin, Längsmuskelschreibung. Auf 20 cg Nikotin rasche Lähmung.

Eine vorhandene, ausgesprochene Nikotinerregung lässt sich weder am isolierten Kaninchen- noch Hundedünndarm durch nachherige Zufuhr kleiner Atropingaben in ähnlich prompter Weise beseitigen wie die Pilokarpin- oder Physostigminerregung.

Beim Hund sind selbst grosse Dosen Atropin (15—45 cg) ohne diesen Effekt (vgl. Fig. 7); beim Kaninchendarm kommt es nach grösseren Atropindosen höchstens zu einer geringen Tonusverminderung, nie aber zu dem charakteristisch steilen Absturz der Kurve wie nach Pilokarpin usw. . . . . Es ist also ein Antagonismus zwischen Nikotin und Atropin, der dem Pilokarpin-Atropinantagonismus entspräche, am isolierten Darm nicht vorhanden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass am isolierten Dünndarm von Kaninchen und Hunden im Gegensatz zu den Befunden am Katzendarm die erregende Wirkung des Nikotins überwiegt, während die das Bild bei der Katze beherrschende Anfangshemmung beim Kaninchen nur sehr kurz eintritt und beim Hunde meist gar nicht zu beobachten ist. Atropin ist nicht als ein wahrer Antagonist gegen die periphere Darmwandwirkung des Nikotins zu betrachten.

5. Strophantin.

Die erregende Wirkung des Strophantin lässt sich bei Kaninchen und Hunden in derselben deutlichen Weise nachweisen wie bei der

Katze. Nur empfiehlt es sich, die Dosen etwas höher zu nehmen: 0,2—0,4 mg bei der Katze, 0,4—2,0 mg beim Hund, 2—5 mg beim Kaninchen. Die Kurven ähneln den vom Katzendarm erhaltenen: Es kommt zur Vergrösserung der Pendelbewegungen, zu hochgradiger Zunahme des Tonus, zum systolischen Stillstand. Durch 4 cg Atropin wird der durch Strophantin gesteigerte Tonus nicht aufgehoben, nur ein leichtes Absinken der Kurve erfolgt. Fig. 9 gibt ein Beispiel vom Kaninchendarm.

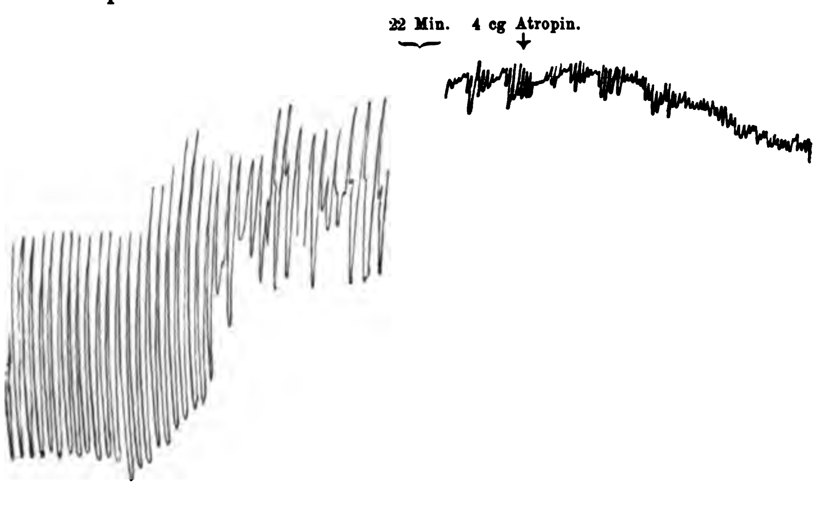


Fig. 9. Versuch 170 C. Kaninchendarm, Längsmuskelschreibung. Auf 5 mg Strophantin (Thoms) Erregung, welche nach 15 mg hochgradig wird und durch 4 cg Atropin nur wenig beeinflusst wird.

6. Suprarenin.

Durch Suprarenin wird ebenso wie bei der Katze auch beim Kaninchen und Hunde Hemmung der Darmbewegung hervorgerufen. $^1/_{100}$ mg bewirkt beim Kaninchen Absinken des Tonus bei erhaltenen Pendelbewegungen, $^1/_{10}$ mg völligen Stillstand der Bewegungen im Zustande maximalster Erschlaffung, der einige Zeit andauert, worauf allmählich wieder Bewegungen bis zur alten Stärke einsetzen. Auch nach vorheriger Applikation von Atropin, Nikotin und Strophantin tritt die Suprareninhemmung stets ein.

7. Apokodein.

Fig. 10 zeigt, dass am isoliersen Kaninchendarm auf 1/4 cg Apokodein zuerst Erregung, schliesslich völliger Stillstand der Bewegung auftritt. Es ergibt sich also dasselbe wie bei der Katze, dass die Anfangswirkung des Apokodein eine Erregung ist, und dass man zur Erklärung der Abführwirkung nicht den Fortfall einer splanchnischen Hemmung heranzuziehen braucht. Dieselbe beruht vielmehr auf der direkten Darmwandwirkung des Giftes.



Fig. 10. Versuch 173 A. Kaninchendarm, Längsmuskelschreibung. Auf 1/4 cg Apokodein zuerst deutliche Erregung, dann Lähmung.

8. Chlorbaryum.

Der Baryt stellt auch am Kaninchen- und Hundedarm das stärkste Erregungsmittel für die Darmbewegungen dar. Er führt selbst in relativ kleinen Dosen zu maximaler Dauerkontraktion mit Erlöschen der Pendelbewegungen, zu richtigem systolischen Stillstand. Schlingen, die keine Spontanbewegungen zeigen, reagieren noch auf Baryt, selbst wenn andere erregende Gifte unwirksam blieben. Selbst nach Lähmung des Darmes durch Atropin (25 cg beim Kaninchen) und Nikotin (50 cg beim Hund) wird durch Ba Cl_2 noch eine hochgradige Kontraktion ausgelöst; sogar während der Suprareninhemmung bleibt Baryt wirksam. Umgekehrt wird die Barytkontraktion weder durch 4 cg Atropin, noch durch 1 mg Suprarenin aufgehoben. Die Dosierung ist dieselbe wie bei der Katze (0,2 g auf 200 ccm Ringer's Lösung).

Zusammenfassung.

Das Hauptresultat dieser Arbeit ist, dass sich der isolierte überlebende Dünndarm von Hund, Katze und Kaninchen den untersuchten Giften gegenüber im wesentlichen gleichartig verhält.

Die gefundenen Unterschiede wie beim Nikotin und dem antagonistischen Verhalten einzelner Erregungsmittel gegen Atropin sind mehr graduelle als qualitative.

Vor allem sind die Formen, in denen der isolierte Darm auf verschiedene Gifte reagiert, bei den drei Tierarten prinzipiell die gleichen, und zwar:

1. Erregung und Tonuszunahme;

2. Lähmung bei hohem und niederem Tonus;

3. vorübergehende Hemmung der Spontanbewegungen;

4. Tonusaufhebung mit und ohne Stillstand der Bewegungen bei vorher durch Erregungsmittel gesteigertem Tonus;

5. Aufhebung der peristaltischen Reflexe bei Erhaltenbleiben der Pendelbewegungen — darüber fehlen mir eigene Erfahrungen, doch beschreiben Bayliss und Starling dieselbe beim Hunde nach Nikotin und Kokain. Nur die

6. Regularisierung ist beim Hunde- und Kaninchendarm keine so regelmässige Erscheinung wie bei der Katze; beim Kaninchen schon deshalb, weil hier in der Norm die Pendelbewegungen äusserst regelmässig sind und grössere Tonusschwankungen ganz fehlen.

Über den Angriffspunkt der verschiedenen Gifte habe ich bei den beiden Tierarten wegen des Mangels physiologischer Vorarbeiten keine eigenen Experimente anstellen können; doch ist die Annahme wohl gerechtfertigt, dass bei der Gleichartigkeit der pharmakologischen Wirkung die untersuchten Substanzen bei Hund und Kaninchen auch den gleichen Angriffspunkt haben wie bei der Katze.

Die Resultate der Untersuchung sind kurz folgende:

Die untersuchten Gifte wirken auf den isolierten, überlebenden Dünndarm des Kaninchens und des Hundes im allgemeinen in derselben Weise wie auf den Katzendarm. Nur in folgenden Punkten ergaben sich Unterschiede:

1. Nikotin bewirkt zuerst Hemmung, dann Erregung; Lähmung tritt erst nach enorm hohen Dosen auf. Bei der Katze ist die Hemmung sehr ausgesprochen, die Erregung gering; beim Kaninchen die Hemmung kurz und schwach, die Erregung hochgradig; beim Hund fehlt die Hemmung in weitaus den meisten Fällen ganz.

2. Nach kleinen Atropindosen ist bei der Katze, nicht aber beim Kaninchen und Hund die Nikotinhemmung mit nachfolgender Erregung aufgehoben. Die Nikotinerregung wird beim Kaninchen kaum, beim Hund überhaupt nicht durch nachher gegebenes Atropin beeinflusst.

3. Zur Aufhebung der Physostigminerregung sind beim Kaninchen schon kleine, bei der Katze erst grössere Mengen Atropin wirksam.

4. Am vorher atropinisierten Darm wirken bei der Katze Pilokarpin und Physostigmin anfangs noch gut, nach Beginn der Atropinlähmung aber nicht mehr. Beim Kaninchen wird die Wirkung dieser Erregungsmittel am atropinisierten Darm (besonders des Pilokarpins) dagegen schon weit früher aufgehoben.

(Aus dem thierphysiol. Institut der Kgl. landw. Hochschule zu Berlin.)

Ueber den respiratorischen Stoffwechsel bei statischer Arbeit.

Zweite Mittheilung.

Ueber den Einfluss des Stehens und der Belastung auf den respiratorischen Stoffwechsel.

Von

Dr. **A. Bornstein** und Dr. **A. Ott.**

Ueber den Einfluss der stehenden Haltung auf den Stoffumsatz des Menschen existiren einige wenige gelegentliche Versuche. Als Erster hat Katzenstein sich mit der Frage beschäftigt, und schon er fand bei seinen Versuchen grosse Schwankungen in der Zunahme, die zwischen 1—20 % des Ruheverbrauchs waren. Zuletzt erwähnen Zuntz und Schumburg[1]) einen Versuch, bei dem sogar der Verbrauch des stehenden Menschen etwa um 4 % unter dem Mittel der Ruheversuche liegt.

Bei dieser Sachlage schien es uns interessant, eine grössere Reihe von Versuchen über diesen Gegenstand anzustellen. Zugleich wollten wir auch den Einfluss der Belastung auf den Stoffumsatz studiren, und zwar sowohl einer improvisirten Belastung in Form eines Tornisters als auch der von Braune und Fischer aus mechanischen Gründen für äusserst zweckmässig empfohlene feldmarschmässigen Belastung. Für Ueberlassung der Militärausrüstung (preussisches Infanteristengepäck) sind wir der Medizinalabtheilung des Kgl. preuss. Kriegsministeriums zu Dank verpflichtet.

Die Arbeit des Stehens kann man als eine statische im weiteren Sinne des Wortes betrachten; sie besteht im Wesentlichen ausser der, nur bei straffer Haltung erheblichen Muskelspannung in kleinen balancirenden Bewegungen um die Gleichgewichtslage des Körpers.

---

1) Zuntz und Schumburg, Studien zu einer Physiologie des Marsches S. 221. Berlin 1901.

Dementsprechend ist sie um so grösser, je kleiner die Basis des Körper ist; am grössten also, wenn beide Füsse dicht neben einander stehen. Vergrössert kann die Arbeit noch durch Annehmen einer sogenannten militärischen Haltung werden. Auf Versuche in dieser letzteren Stellung haben wir verzichtet, und wir haben uns zur Aufgabe gestellt, bei unseren Versuchen eine möglichst legere Haltung anzunehmen. Es bilden dabei die Längsachsen der beiden Füsse einen Winkel von etwa 50—60°; die Hacken waren etwa 20 cm von einander entfernt. Dem Einen von uns (Ott) erschien es dabei bequemer, den einen Fuss etwas vorzustellen. Die Versuche mit Gepäck wurden entsprechend angestellt. — Zu jedem stehenden und stehend-belasteten Versuch wurde ein Ruheversuch (auf dem Sopha liegend) angestellt.

Was die Versuchsfehler anbetrifft, so sind sie ziemlich gross. Als erster Fehler muss die immerhin etwas variirende Fussstellung angesehen werden; als zweiter die je nach der augenblicklichen Disposition und Uebung wechselnde Fähigkeit, Schwankungen des Schwerpunktes möglichst zu vermeiden. Dazu kommen drittens noch die Analysenfehler, welche gerade bei den kleinen Ausschlägen, mit denen wir es zu thun haben, recht ins Gewicht fallen. Die Versuchsmethodik und die Berechnung der für die Arbeit verbrauchten Calorien war die gleiche wie früher[1]. Es wurden jedoch von der gefundenen Calorienzahl Abzüge gemacht, und zwar entsprechend der bei den Arbeitsversuchen durch Vermehrung der Lungenventilation geleisteten Athemarbeit.

Es wurden abgezogen:

bei den Versuchen „ohne Belastung“:

Versuchsperson B. 23,0 kl. cal. pro Liter Mehrventilation
„ O. 26,8 „ „ „ „ „

und bei den Versuchen „mit Belastung“:

Versuchsperson B. 35,2 kl. cal. pro Liter Mehrventilation,
„ O. 40,2 „ „ „ „ „

Wie diese Korrekturzahlen gewonnen sind, wird in der folgenden Mittheilung ausgeführt werden.

Es ergab sich als Gesammtmittel aus 17 Versuchen der für die Arbeit des Stehens pro Minute stattfindende Stoffumsatz zu 156 kl. Calorien.

1) Bornstein und Poher, Dieses Archiv Bd. 95 S. 146 ff.

Jedoch lässt sich dabei deutlich eine individuelle Verschiedenheit nachweisen:

Bei Person B. war das Mittel 110 cal.
„ „ O. „ „ „ 197 „

Diese individuellen Schwankungen sind sicher nicht durch Verschiedenheiten des Körpergewichtes bedingt; das Gewicht

des B. betrug im Mittel 82 kg
„ O. „ „ „ 86 „.

Auch in der Körpergrösse war zwischen beiden Versuchspersonen kein erheblicher Unterschied. Möglicherweise liegt die Erklärung in der schon oben bemerkten Differenz der Fussstellung.

Das improvisirte Gepäck bestand aus einem alten, mit Gewichtstücken beschwerten Tornister, der um die Schultern befestigt war; sein Gewicht betrug 18,9 kg. Im Gegensatz dazu war der Tornister bei der feldmarschmässigen Belastung sowohl um die Schultern als auch am Koppel (Leibgurt) befestigt, wodurch natürlich die Belastung bedeutend näher am Schwerpunkt des Körpers angriff; das Gewicht dieser Last betrug 17,4 kg.

Die Mittelzahlen aus unseren diesbezüglichen Versuchen sind nun sehr auffällig. Es war verbraucht worden beim improvisirten Gepäck für die Arbeit des Stehens und Tragens der Last:

175 cal. (B. 131 cal., O. 212 cal.),

dagegen für feldmarschmässiges Gepäck:

98 cal. (B. 95 cal., O. 101 cal.).

In diesen Zahlen kommt die Zweckmässigkeit der durch praktische Erfahrung für bequem gefundenen preussischen Militärbepackung zum Ausdruck; ein ähnliches Resultat fanden Fischer und Braune bei ihren bekannten Gleichgewichtsversuchen. Bemerkenswert ist auch, dass die individuellen Unterschiede bei der feldmarschmässigen Belastung fast ganz verschwinden, und dass sogar in der Mehrzahl der Versuche der Verbrauch des feldmarschmässig belasteten Menschen geringer ist als der des unbelasteten Menschen; durch die zweckmässige Belastung werden also die balancirenden Bewegungen eher verringert.

General-

a = Ruheversuche liegend. — *b = Versuche stehend*

Laufende Nummer	Puls-schlag pro Minute	Ventilation pro Minute Liter	Zusammensetzung der exspirirten Luft in Procenten O_2	CO_2	Aufgenommener Sauerstoff pro Minute Liter	Abgegebene Kohlensäure pro Minute Liter
						Improvisirtes
I b	*100*	*8,78*	*16,54*	*3,91*	*0,3600*	*0,3116*
I a	76	6,77	15,53	4,37	0,3485	0,2685
I c	**96**	**8,6**	**16,39**	**3,86**	**0,3691**	**0,3018**
II b	*100*	*9,13*	*16,10*	*3,96*	*0,4197*	*0,3284*
II a	84	8,29	15,94	4,11	0,3939	0,3096
II c	**108**	**10,00**	**16,30**	**4,06**	**0,4336**	**0,3682**
III b	*108*	*9,0*	*17,04*	*3,70*	*0,3306*	*0,3105*
III a	76	7,07	16,21	4,11	0,3154	0,2663
III c	**112**	**8,81**	**16,76**	**3,93**	**0,3393**	**0,3150**
IV b	*104*	*7,8*	*17,22*	*3,18*	*0,2721*	*0,2248*
IV a	72	6,17	16,69	3,66	0,2460	0,2049
IV c	**108**	**9,63**	**17,61**	**3,20**	**0,2927**	**0,2795**
V b	*96*	*8,9*	*16,83*	*3,95*	*0,3328*	*0,3176*
V a	76	7,36	16,50	4,04	0,3020	0,2692
V c	**100**	**10,21**	**16,93**	**3,96**	**0,3695**	**0,3648**
VI b	*100*	*7,21*	*16,58*	*3,78*	*0,2909*	*0,2443*
VI a	80	6,98	16,59	4,41	0,2696	0,2752
VI c	**104**	**9,39**	**17,21**	**3,75**	**0,3132**	**0,3165**
VII b	*92*	*9,82*	*16,96*	*3,40*	*0,3690*	*0,3044*
VII a	80	7,17	16,28	3,90	· 0,3175	0,2554
VII c	**96**	**13,12**	**17,38**	**3,35**	**0,4307**	**0,4006**
VIII b	*84*	*8,6*	*17,16*	*3,36*	*0,3032*	*0,2626*
VIII a	76	6,91	16,65	3,55	0,2811	0,2231
VIII c	**84**	**7,86**	**17,05**	**3,18**	**0,2904**	**0,2272**
IX b	*84*	*10,1*	*17,38*	*2,99*	*0,3467*	*0,2803*
IX a	72	7,25	16,49	3,85	0,3095	0,2593
IX c	**88**	**11,12**	**17,72**	**2,99**	**0,3374**	**0,3088**
X b	*96*	*8,07*	*16,85*	*3,75*	*0,2858*	*0,2572*
X a	72	6,67	16,23	4,10	0,2749	0,2319
X c	**104**	**8,6**	**16,88**	**3,75**	**0,3033**	**0,2755**
XI b	*92*	*8,4*	*15,91*	*4,16*	*0,3784*	*0,3000*
XI a	84	6,91	16,02	3,86	0,3011	0,2140
XI c	**96**	**8,69**	**16,19**	**3,93**	**0,3607**	**0,2861**

Tabelle.

ohne Belastung. — c = **Versuche stehend mit Gepäck.**

Respiratorischer Quotient	Für die Arbeit pro Minute verbraucht			Für die Arbeit nach Abzug der Athemarbeit verbrauchte Calorien	Versuchsperson
	O_2 in Liter	CO_2 in Liter	Calorien		
Gepäck: 18,9 kg.					
0,865	*0,0115*	*0,0431*	*0,098*	*0,052*	Bornstein
0,770					
0,817	**0,0206**	**0,0333**	**0,121**	**0,057**	
0,782	*0,0258*	*0,0188*	*0,123*	*0,100*	Ott
0,786					
0,849	**0,0397**	**0,0586**	**0,224**	**0,155**	
0,939	*0,0152*	*0,0442*	*0,429*	*0,385*	Bornstein
0,844					
0,928	**0,0239**	**0,0487**	**0,145**	**0,084**	
0,826	*0,0261*	*0,0199*	*0,124*	*0,086*	Bornstein
0,833					
0,955	**0,0467**	**0,0746**	**0,270**	**0,148**	
0,954	*0,0308*	*0,0484*	*0,177*	*0,142*	Bornstein
0,891					
0,987	**0,0675**	**0,0956**	**0,371**	**0,271**	
0,840	*0,0213*	0,0309	*0,050*	*0,045*	Bornstein
1,021					
1,010	**0,0436**	**0,0413**	**0,220**	**0,185**	
0,825	*0,0515*	*0,0490*	*0,257*	*0,186*	Ott
0,805					
0,930	**0,1132**	**0,1452**	**0,611**	**0,372**	
0,866	*0,0221*	*0,0395*	*0,133*	*0,088*	Ott
0,794					
0,782	**0,0093**	**0,0041**	**0,041**	**0,003**	
0,808	*0,0372*	*0,0210*	*0,168*	*0,092*	Ott
0,838					
0,915	**0,0279**	**0,0495**	**0,168**	**0,012**	
0,900	*0,0109*	*0,0253*	*0,072*	*0,040*	Bornstein
0,844					
0,908	**0,0284**	**0,0436**	**0,162**	**0,094**	
0,793	*0,0773*	*0,0860*	*0,389*	*0,349*	Ott
0,744					
0,793	**0,0596**	**0,0721**	**0,303**	**0,231**	

General-

a = Ruheversuche liegend. — *b* = *Versuche stehend*

Laufende Nummer	Puls-schlag pro Minute	Ventilation pro Minute Liter	Zusammensetzung der exspirirten Luft in Procenten O_2	CO_2	Aufgenommener Sauerstoff pro Minute Liter	Abgegebener Kohlenstoff pro Minute Liter
						Improvisirtes
XII b	*88*	*9,88*	*16,21*	*3,94*	*0,4100*	*0,3279*
XII a	76	7,24	16,10	4,00	0,3076	0,2436
XII c	**100**	**9,48**	**16,25**	**3,88**	**0,3914**	**0,3056**
XIII b	*80*	*10,32*	*16,91*	*3,51*	*0,3618*	*0,3056*
XIII a	64	7,19	16,29	3,88	0,2357	0,2941
XIII c	**96**	**10,42**	**16,47**	**3,61**	**0,4116**	**0,3172**
XIV b	—	*7,41*	*17,26*	*3,19*	*0,2572*	*0,2160*
XIV a	–	5,63	16,24	3,63	0,2541	0,1856
XV b	*96*	*10,45*	*16,72*	*3,65*	*0,4080*	*0,3417*
XV a	80	8,69	16,55	3,96	0,3498	0,3084
XVI b	*96*	*8,67*	*16,71*	*3,95*	*0,3357*	*0,3091*
XVI a	84	6,84	16,12	4,43	0,3034	0,2737
XVII b	*84*	*11,83*	*17,31*	*3,18*	*0,4069*	*0,3463*
XVII a	80	8,89	16,49	3,73	0,3792	0,3056
						Feldmarschmässige
XVIII c	**104**	**8,84**	**17,05**	**3,64**	**0,3051**	**0,2816**
XVIII a	80	7,22	16,93	3,78	0,2721	0,2535
XIX c	**88**	**8,55**	**16,64**	**3,61**	**0,3559**	**0,2874**
XIX a	76	6,9	16,10	3,95	0,3261	0,2541
XX c	**104**	**9,44**	**16,87**	**3,60**	**0,3629**	**0,3124**
XX a	80	7,87	16,45	3,98	0,3344	0,2885
XXI c	**88**	**8,28**	**16,87**	**3,35**	**0,3235**	**0,2551**
XXI a	68	6,00	16,16	3,94	0,2750	0,2171
XXII c	**92**	**7,62**	**16,68**	**3,55**	**0,3118**	**0,2496**
XXII a	68	6,46	16,00	4,00	0,3086	0,2385
XXIII c	**84**	**8,17**	**16,80**	**3,87**	**0,3168**	**0,2916**
XXIII a	68	6,01	15,90	4,42	0,2880	0,2452
XXIV c	**116**	**9,46**	**16,89**	**3,64**	**0,3638**	**0,3194**
XXIV a	76	7,09	16,02	4,37	0,3316	0,2867
XXV c	**88**	**7,8**	**16,40**	**3,85**	**0,3398**	**0,2778**
XXV a	72	7,39	16,65	3,76	0,3019	0,2570

Tabelle.

ohne Belastung. — c = **Versuche stehend mit Gepäck.**

Respiratorischer Quotient	Für die Arbeit pro Minute verbraucht			Für die Arbeit nach Abzug der Athemarbeit verbrauchte Calorien	Versuchsperson
	O_2 in Liter	CO_2 in Liter	Calorien		
Gepäck: 18,9 kg.					
0,800 0,792 0,781	*0,1024* 0,0838	*0,0843* 0,0620	*0,479* 0,381	*0,408* 0,291	Ott
0,845 0,802 0,770	*0,0699* 0,1759	*0,0677* 0,0231	*0,344* 0,548	*0,260* 0,418	Ott
0,840 0,730	*0,0031*	*0,0304*	*0,049*	*0,008*	Bornstein
0,837 0,882	*0,0582*	*0,0333*	*0,263*	*0,216*	Ott
0,921 0,902	*0,0323*	*0,0354*	*0,167*	*0,125*	Bornstein
0,851 0,806	*0,0277*	*0,0407*	*0,156*	*0,077*	Ott
Ausrüstung: 17,4 kg.					
0,923 0,932	0,0330	0,0281	0,169	0,180	Bornstein
0,808 0,779	0,0298	0,0333	0,180	0,114	Ott
0,861 0,863	0,0285	0,0239	0,187	0,082	Bornstein
0,789 0,789	0,0485	0,0380	0,202	0,110	Ott
0,801 0,773	0,0032	0,0111	0,072	0,025	Ott
0,922 0,851	0,0283	0,0464	0,165	0,089	Bornstein
0,878 0,865	0,0322	0,0327	0,164	0,080	Bornstein
0,817 0,851	0,0379	0,0208	0,170	0,153	Ott

(Aus dem thierphysiol. Institut der Kgl. landw. Hochschule zu Berlin.)

Ueber den respiratorischen Stoffwechsel bei statischer Arbeit.

Dritte Mittheilung.

Ueber den Einfluss der Athemarbeit bei belastetem und unbelastetem Thorax auf den respiratorischen Stoffwechsel.

Von

A. Bornstein und **B. v. Gartzen.**

Der Zweck der hier mitzutheilenden Versuche war die Trennung der Athemarbeit von der eigentlichen statischen Arbeit bei den früheren Versuchen.

Es handelte sich um Anbringung einer Correctur, zu der es der Kenntniss der Vermehrung des Stoffumsatzes durch vermehrte Lungenventilation sowohl bei unbelastetem als auch bei durch Gepäck (feldmarschmässige Infanterieausrüstung) belastetem Thorax benöthigte.

Diese Correctur kann man natürlich nicht nur bei den oben mitgetheilten Versuchen, sondern allgemein auch bei allen Marschversuchen anwenden. Die Versuchsanordnung war derart, dass die Versuchsperson willkürlich die Lungenventilation vermehrte. Die Anzahl der Athemzüge regulirten wir bei der Mehrzahl der Versuche mittelst eines Metronoms, wobei wir Werth darauf legten, dass mehr die Frequenz als die Tiefe der Athemzüge vermehrt wurde. Es zeigte sich übrigens, dass die pro Liter Ventilation geleistete Athemarbeit nicht wesentlich grösser war, wenn man die Tiefe der Athemzüge in einem einigermassen physiologischen Bereiche vermehrte.

Wenn man von einer ruhigen Athmung plötzlich zur forcirten Athmung übergeht, so entsteht natürlich eine plötzliche Aenderung der Alveolartension des Sauerstoffs und der Kohlensäure. Es wird infolgedessen vom Blut eine gewisse Menge Kohlensäure an die Respirationsluft abgegeben, eine gewisse Menge Sauerstoff aus der Respirationsluft ins Blut aufgenommen, bis sich wieder ein Gleichgewichtszustand zwischen Alveolarluft und Blut ausgebildet hat, wie in den Arbeiten der Pflüger'schen Schule beobachtet worden ist. Dabei geht der Ausgleich beim Sauerstoff bedeutend schneller von statten als bei der Kohlensäure.

Nr.	Ventilation Liter	Athemzüge pro Minute	Exspirirte Luft		Pro Minute in ccm ausgeschieden		Respiratorischer Quotient	Versuchsdauer	Zwischenzeit Min.	Puls	Bemerkungen
			O_2 %	CO_2 %	O_2 ccm	CO_2 ccm					
1	6,27	11½	16,92	3,45	237,4	194,6	0,8195	9½	—	80	
2	30,47	28	18,71	2,59	561,9	717,5	1,2769	3		92	
3	27,25	28	19,43	1,89	352,8	473,9	1,3433	3½	0	88	
4	23,77	28	19,21	1,70	375,3	369,9	0,9855	6	2½	84	
5	25,34	28	19,34	1,72	366,6	398,9	1,0864	7	1	88	
6	28,64	28	19,28	1,78	422,6	465,8	1,1022	5½	1	86	
7	33,82	28	19,42	1,75	446,9	531,2	1,1886	5	½	90	
8	30,31	28	19,13	1,62	483,6	448,5	0,9273	6	1	92	Geringes Zittern
9	32,2	28	19,32	1,49	482,5	438,1	0,9080	6	1	—	Geringes Zittern
10	33,5	28	19,23	1,48	537,4	452,7	0,7678	3½	2	84	Starkes Zittern
11	5,53	10	15,91	2,67	293,2	138,4	0,4719	24	½	72	
12	6,39	11	16,27	3,45	298,8	202,7	0,6724	10	1	76	
13	6,13	11	16,06	3,45	297,0	193,6	0,6520	13½	3	78	
14	6,83	12	16,31	3,60	307,0	224,1	0,7303	11½	1½	88	

In vorstehender Tabelle (S. 629) befindet sich eine Reihe von direkt hintereinander angestellten Versuchen über diesen Ausgleich. Die Versuche wurder an der stehenden Versuchsperson B. angestellt.

Beim ersten Versuch wurde eine ruhige natürliche Athmung eingehalten; bei Nr. 2—10 eine forcirte Athmung von ca. 30 Liter Lungenventilation bei einer durch Metronom regulirten Anzahl der Athemzüge von 28 pro Minute; Nr. 11—14 sind wieder Versuche mit normaler Athmung. In der drittletzten Kolonne der Tabelle findet sich die Zeit notirt, die zwischen den einzelnen Versuchen lag; während derselben blieben Frequenz und Tiefe der Athmung ebenso wie während der messenden Versuche.

Es zeigt sich nun, dass bei Beginn der forcirten Athmung sowohl die absorbirte O_2-Menge, als auch die ausgeschiedene CO_2-Menge bedeutend zunimmt. Ein grosser Theil dieser scheinbaren Steigerung des Stoffwechsels ist auf die oben angeführten Diffusionsverhältnisse zurückzuführen und verschwindet dementsprechend beim Eintritt des Gleichgewichtszustandes, wo dann nur noch die durch die Athemarbeit bewirkte Steigerung zurückbleibt.

Während nun, wie die Tabelle zeigt, der Gasaustausch zwischen Lunge und Blut punkto Sauerstoff schon nach 3 Minuten beendigt ist, gibt das Blut Kohlensäure noch etwa 50 Minuten lang ab; erst bei Versuch 10 ist ein Gleichgewicht zwischen Blut und Lungenluft eingetreten, wie der Vergleich mit dem respiratorischen Quotienten von Nr. 1 zeigt[1]). Wenn man sich also bei den Versuchen mit forcirter Athmung auf die Beobachtung des absorbirten Sauerstoffs beschränkt, so kann man annehmen, dass nach einem Vorversuch von etwa 5 Minuten, nach welchen die Ausgleichserscheinungen

1) In Nr. 11—14 macht sich der entgegengesetzte Process bemerkbar; auch hier währt es etwa 50 Minuten, bis der sich im respiratorischen Quotienten kundthuende Gleichgewichtszustand erreicht ist. Die bei den Versuchen 2—10 vom Körpervorrat abgegebene CO_2-Menge beträgt ca. 5,5 Liter; die während Versuch 11—14 zurückgehaltene CO_2-Menge ca. 4,2 Liter. — Beide Werthe sollten eigentlich gleich gross sein; die Abweichung ist nicht bedeutend genug, um bei den mannigfachen Fehlerquellen daraus Bedenken gegen die Richtigkeit der Pflüger'schen Regel abzuleiten. Die Vollausscheidung von Kohlensäure wurde durch Multiplication der Sauerstoffaufnahme mit dem respiratorischen Quotienten des ersten Versuchs (0,82) berechnet. — Es sei noch darauf aufmerksam gemacht, in wie erheblichem Umfange sich die Gewebe des Körpers an der Abgabe von Kohlensäure bei der vermehrten Ventilation betheiligen. Rechnen wir die Blutmenge zu $^1/_{14}$ des Körpergewichts = 6 kg und nehmen wir nach Aug. Ewald (Pflüger's Arch. Bd. 7 S. 576) an, dieselbe habe 30 Vol.-Procente Kohlensäure abgegeben, so waren das im Ganzen 1,8 Liter, die Gewebe müssen also wenigstens 3,7 Liter CO_2 hergegeben haben.

sicher abgelaufen sind, die durch die Lungen aufgenommenen Sauerstoffmengen ein genaues Bild des jetzt nur noch durch die Athemarbeit beeinflussten Stoffwechsels geben. Da der Ruheversuch unmittelbar vor oder nach dem Versuche mit forcirter Athmung angestellt wurde, so kann man annehmen, dass das Verhältnis, in welchem Eiweiss, Fett und Kohlenhydrate am Stoffwechsel betheiligt sind, bei beiden Versuchen das gleiche ist, und aus dem respiratorischen Quotienten des Ruheversuchs die der Sauerstoffaufnahme des Versuchs mit vermehrter Athmung entsprechende Calorienzahl berechnen.

Die so gewonnenen Zahlen zeigen bedeutende individuelle Schwankungen.

Es wurde verbraucht bei den Versuchen „ohne Belastung“ im Mittel für einen Liter Mehrventilation pro Minute:

bei Versuchsperson B. 23 (kleine) cal.,
„ „ G. 31 „ „ und
im Mittel . . . . . 26,8 „ „ .

Diese Zahlen stimmen übrigens gut mit den schon früher von Zuntz und Löwy am Menschen und am Pferde angestellten Versuchen überein. Ausser diesen individuellen Schwankungen zeigen sich aber auch Differenzen zwischen den an der gleichen Versuchsperson angestellten Versuchen. Die Differenzen sind, selbst wenn man den möglichen Analysenfehler zu hoch auf 0,1 % anschlägt, um ein mehrfaches grösser als die Fehlerquellen.

So ist das Minimum für 1 Liter Mehrventilation bei B. 11,5 cal., das Maximum 30,9 cal.

Vielleicht sind diese Schwankungen zum grossen Theil dadurch bedingt, dass bei den einen Versuchen mehr thorakale, bei den anderen mehr abdominale Athmung angewandt wurde; wir wurden auf diesen Punkt zu spät aufmerksam, um etwas Sicheres darüber sagen zu können.

Bei den Versuchen mit feldmarschmässiger Belastung betrug der Mehrverbrauch pro Liter Ventilation bei: B. 35,2 cal., bei G. 43,6 cal. und im Mittel 39,4 cal. Durch die Belastung erhält die Athmung einen ausgesprochen abdominalen Typus; dementsprechend sind auch die Schwankungen zwischen den einzelnen Versuchen geringer als bei den Versuchen „ohne Belastung“.

Herrn Geheimrath Zuntz sind wir für Anregung und lebhafte Antheilnahme an dieser Arbeit zu Dank verpflichtet; der Medizinal-Abtheilung des kgl. preuss. Kriegsministeriums verdanken wir die Ueberlassung der Infanterieausrüstung.

General-Tabelle.

a = ruhige Athmung. — *b* = *willkürlich forcirte Atmung.*

Laufende Nummer	Pulsschlag pro Minute	Ventilation pro Minute in Liter	Zahl der Athemzüge pro Minute	Zusammensetzung der exspirirten Luft in Procenten		Aufgenommener Sauerstoff pro Minute in Liter	Abgegebene Kohlensäure pro Minute in Liter	Respiratorischer Quotient	Für 1 Liter Mehrventilation pro Minute verbrauchte kl. Calorien	Versuchsperson
				O_2	CO_2					
I. Ohne Belastung.										
I *b*	88	37,6	22	19,27	2,00	0,5481	0,6878	1,255	12,1	v. Gartzen
I a	66	15,47	12	17,56	3,19	0,4942	0,4570	0,925		
II *b*	—	35,04	—	19,44	1,81	0,4540	0,5752	1,267	30,9	Bornstein
II, III a	—	7,72	—	17,05	3,60	0,2825	0,2551	0,903		
III *b*	—	28,57	—	19,31	1,87	0,4075	0,4825	1,184	29,5	
IV *b*	92	36,57	20	19,08	2,00	0,6236	0,6787	1,088	28,2	v. Gartzen
IV a	72	10,30	13	16,32	3,97	0,4700	0,3874	0,824		
V *b*	—	19,47	36	18,93	2,17	0,3626	0,3988	1,100	27,2	Bornstein
V a	—	6,41	10	16,25	4,36	0,2907	0,2643	0,909		
VI *b*	84	25,53	30	18,51	2,59	0,5640	0,6040	1,078	36,9	v. Gartzen
VI, VII a	80	9,36	12	16,13	3,96	0.4355	0,3407	0,782		
VII *b*	80	23,92	30	18,29	2,67	0,5796	0,5814	1,003	47,2	
VIII *b*	100	24,07	30	19,36	1,76	0,3334	0,3861	1,156	15,7	Bornstein
VIII, IX a	68	6,57	10	16,50	3,80	0,2764	0,2268	0,820		
IX *b*	88	23,8	30	19,33	2,03	0,3175	0,4273	1,346	11,5	
X *b*	92	33,8	28	18,93	2,12	0,6145	0,6526	1,062	28,5	v. Gartzen
X a	88	10,53	12	16,26	3,92	0,4765	0,3808	0,799		

General-Tabelle.

a = ruhige Athmung. — *b* = *willkürlich forcirte Atmung.*

Laufende Nummer	Pulsschlag pro Minute	Ventilation pro Minute in Liter	Zahl der Athemzüge pro Minute	Zusammensetzung der exspirirten Luft in Procenten		Aufgenommener Sauerstoff pro Minute in Liter	Abgegebene Kohlensäure pro Minute in Liter	Respiratorischer Quotient	Für 1 Liter Mehrventilation pro Minute verbrauchte kl. Calorien	Versuchsperson
				O_2	CO_2					
II. Mit feldmarschmässiger Ausrüstung.										
XI b	—	*31,07*	—	*19,23*	*1,92*	*0,4652*	*0,5355*	*1,151*	*43,0*	Bornstein
XI, XII a	—	7,32	—	17,20	3,40	0,2569	0,2268	0,883	*34,3*	
XII b	—	*23,55*	—	*19,17*	*1,86*	*0,3704*	*0,3924*	*1,060*		
XIII b	*88*	*14,85*	*24*	*17,75*	*2,91*	*0,4463*	*0,3953*	*0,866*	*48,5*	v. Gartzen
XIII, XIV a	80	9,8	14	16,77	3,41	0,3949	0,3063	0,776	*37,0*	
XIV b	*72*	*24,5*	*19*	*18,64*	*2,37*	*0,5089*	*0,5251*	*1,032*		
XV b	—	*30,64*	*18*	*19,28*	*1,92*	*0,4508*	*0,5395*	*1,197*	*30,4*	Bornstein
XV, XVI a	—	6,30	13	16,07	4,32	0,2984	0,2523	0,846	*33,1*	
XVI b	—	*37,5*	*28*	*19,38*	*1,82*	*0,5108*	*0,6282*	*1,230*		
XVII b	—	*39,04*	*32*	*18,93*	*2,19*	*0,6809*	*0,7543*	*1,108*	*39,2*	v. Gartzen
XVII a	84	10,84	14	16,46	3,84	0,4521	0,3716	0,822		
XVIII b	*80*	*28,63*	*30*	*18,60*	*2,28*	*0,6190*	*0,5944*	*0,960*	*41,5*	v. Gartzen
XVIII a	80	12,64	11	16,87	3,77	0,4842	0,4378	0,904		
XIX b	*96*	*44,25*	*30*	*18,80*	*2,33*	*0,8405*	*0,9307*	*1,107*	*54,1*	v. Gartzen
XIX, XX a	80	9,72	15	16,06	4,18	0,4534	0,3725	0,821	*41,3*	
XX b	—	*34,35*	*30*	*18,79*	*2,24*	*0,6638*	*0,6942*	*1,046*		

Berichtigung.

Leider ist in meiner Arbeit „Die Rolle des Liquor cerebralis u. s. w." (dieses Archiv Bd. 109 S. 342) in einem Theil der Auflage die partielle Derivirte consequent mit d statt mit ∂ gedruckt worden.

R. Geigel.

Pierersche Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.



ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

BAND HUNDERT UND NEUN.

ERSTES UND ZWEITES HEFT.

MIT 6 TEXTFIGUREN.

BONN, 1905.

VERLAG VON MARTIN HAGER.

Ausgegeben am 19. Juli 1905.

Preis: im Abonnement Mk. 3.80, einzeln Mk. 5.—.

Inhalt.

Die Herren Mitarbeiter

erhalten pro Druckbogen 30 M. Honorar und 40 Sonderabzüge gratis.

Die zahlreichen mir zugehenden in das Deutsche übersetzten Abhandlungen der Ausländer kann ich unmöglich, wie fortwährend gewünscht wird, umarbeiten, um die sprachlich unmöglichen Ausdrücke zu verbessern. Denn der Sinn ist selbst in fehlerfreiem Deutsch geschriebenen medicinischen Abhandlungen oft nur schwer zu enträthseln.

Zusendungen für die Redaction sind, um Verwechselungen zu vermeiden, zu adressiren:

Herrn Professor Dr. E. Pflüger,
Bonn, **Nussallee 172.**

Piererscbe Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.

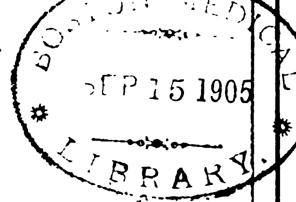


ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.



HERAUSGEGEBEN

VON

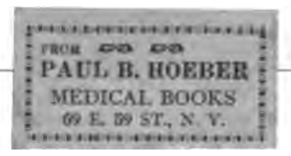
Dr. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

BAND HUNDERT UND NEUN.

DRITTES UND VIERTES HEFT.

MIT 16 TEXTFIGUREN.



BONN, 1905.

VERLAG VON MARTIN HAGER.

Ausgegeben am 2. August 1905.

Preis: im Abonnement Mk. 4.80, einzeln Mk. 6.40.

Inhalt.

Seite

Die Herren Mitarbeiter

erhalten pro Druckbogen 30 M. Honorar und 40 Sonderabzüge gratis.

Die zahlreichen mir zugehenden in das Deutsche übersetzten Abhandlungen der Ausländer kann ich unmöglich, wie fortwährend gewünscht wird, umarbeiten, um die sprachlich unmöglichen Ausdrücke zu verbessern. Denn der Sinn ist selbst in fehlerfreiem Deutsch geschriebenen medicinischen Abhandlungen oft nur schwer zu enträthseln.

Zusendungen für die Redaction sind, um Verwechselungen zu vermeiden, zu adressiren:

Herrn Professor Dr. E. Pflüger,

Bonn, **Nussallee 172.**

Hierzu eine Beilage von Martin Hager in Bonn, betreffend: Das Glykogen und seine Beziehungen zur Zuckerkrankheit. Von Dr. E. F. W. Pflüger.

Piererische Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.



ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

BAND HUNDERT UND NEUN.

FÜNFTES UND SECHSTES HEFT.

MIT 4 TAFELN UND 4 TEXTFIGUREN.

BONN, 1905.

VERLAG VON MARTIN HAGER.

Ausgegeben am 10. August 1905.

Preis: im Abonnement Mk. 4.40, einzeln Mk. 5.—.

Inhalt.

Seite

Die Herren Mitarbeiter

erhalten pro Druckbogen 30 M. Honorar und 40 Sonderabzüge gratis.

Die zahlreichen mir zugehenden in das Deutsche übersetzten Abhandlungen der Ausländer kann ich unmöglich, wie fortwährend gewünscht wird, umarbeiten, um die sprachlich unmöglichen Ausdrücke zu verbessern. Denn der Sinn ist selbst in fehlerfreiem Deutsch geschriebenen medicinischen Abhandlungen oft nur schwer zu enträthseln.

Zusendungen für die Redaction sind, um Verwechselungen zu vermeiden, zu adressiren:

Herrn Professor Dr. E. Pflüger,
Bonn, **Nussallee 172.**

Pierersche Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.



ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

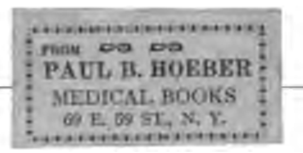
DR. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

BAND HUNDERT UND NEUN.

SIEBENTES UND ACHTES HEFT.

MIT 6 TEXTFIGUREN.



BONN, 1905.

VERLAG VON MARTIN HAGER.

Ausgegeben am 23. August 1905.

Preis: im Abonnement Mk. 3.60, einzeln Mk. 4.80.

Inhalt.

Seite

Die Herren Mitarbeiter

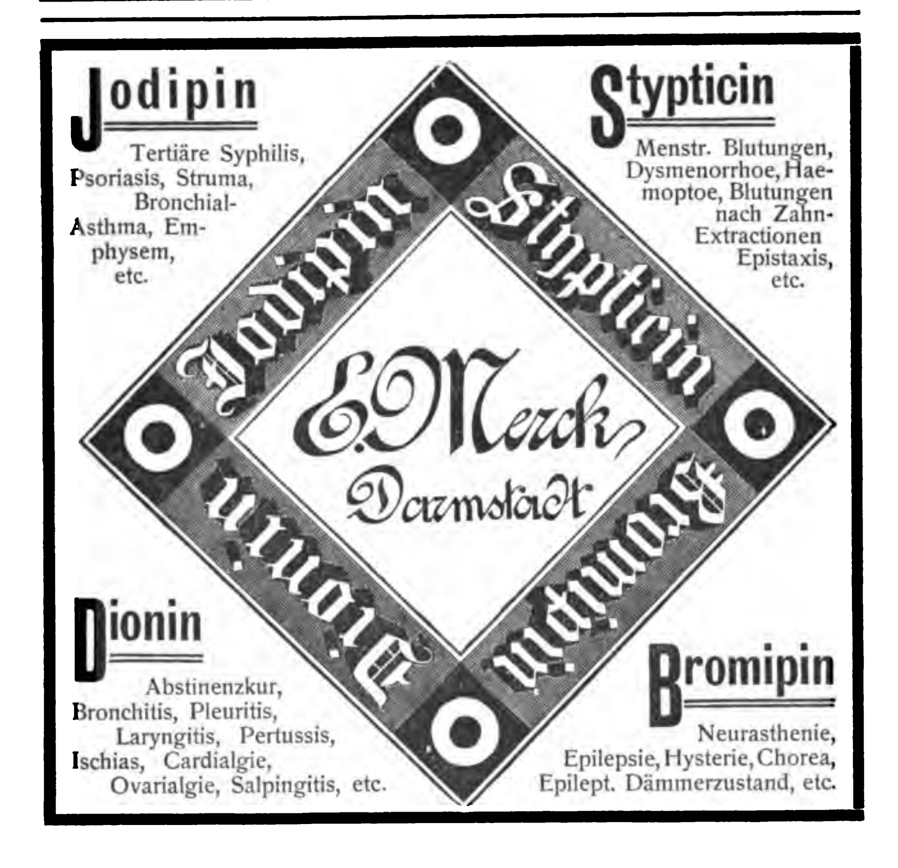
erhalten pro Druckbogen 30 M. Honorar und 40 Sonderabzüge gratis.

Die zahlreichen mir zugehenden in das Deutsche übersetzten Abhandlungen der Ausländer kann ich unmöglich, wie fortwährend gewünscht wird, umarbeiten, um die sprachlich unmöglichen Ausdrücke zu verbessern. Denn der Sinn ist selbst in fehlerfreiem Deutsch geschriebenen medicinischen Abhandlungen oft nur schwer zu enträthseln.

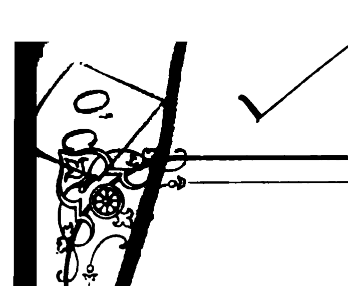
Zusendungen für die Redaction sind, um Verwechselungen zu vermeiden, zu adressiren:

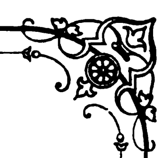
Herrn Professor Dr. E. Pflüger,

Bonn, **Nussallee 172.**


Jodipin
Tertiäre Syphilis, Psoriasis, Struma, Bronchial-Asthma, Emphysem, etc.
Stypticin
Menstr. Blutungen, Dysmenorrhoe, Haemoptoe, Blutungen nach Zahn-Extractionen Epistaxis, etc.
E. Merck
Darmstadt
Dionin
Abstinenzkur, Bronchitis, Pleuritis, Laryngitis, Pertussis, Ischias, Cardialgie, Ovarialgie, Salpingitis, etc.
Bromipin
Neurasthenie, Epilepsie, Hysterie, Chorea, Epilept. Dämmerzustand, etc.

Piorersche Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.



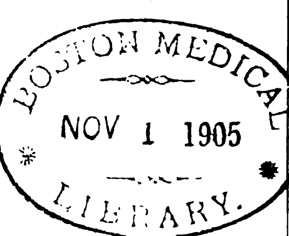


ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.



HERAUSGEGEBEN

VON

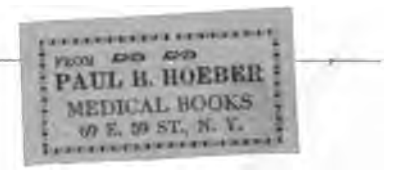
DR. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

BAND HUNDERT UND NEUN.

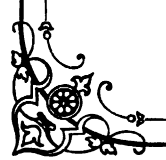
NEUNTES UND ZEHNTES HEFT.

MIT 4 TAFELN.



BONN, 1905.

VERLAG VON MARTIN HAGER.



Ausgegeben am 1. September 1905.

Preis: im Abonnement Mk. 4.20, einzeln Mk. 5.60.

Inhalt.

Die Herren Mitarbeiter

erhalten pro Druckbogen 30 M. Honorar und 40 Sonderabzüge gratis.

Die zahlreichen mir zugehenden in das Deutsche übersetzten Abhandlungen der Ausländer kann ich unmöglich, wie fortwährend gewünscht wird, umarbeiten, um die sprachlich unmöglichen Ausdrücke zu verbessern. Denn der Sinn ist selbst in fehlerfreiem Deutsch geschriebenen medicinischen Abhandlungen oft nur schwer zu enträthseln.

Zusendungen für die Redaction sind, um Verwechselungen zu vermeiden, zu adressiren:

Herrn Professor Dr. E. Pflüger,
Bonn, **Nussallee 172.**